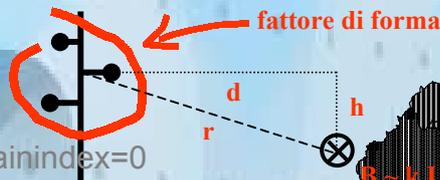
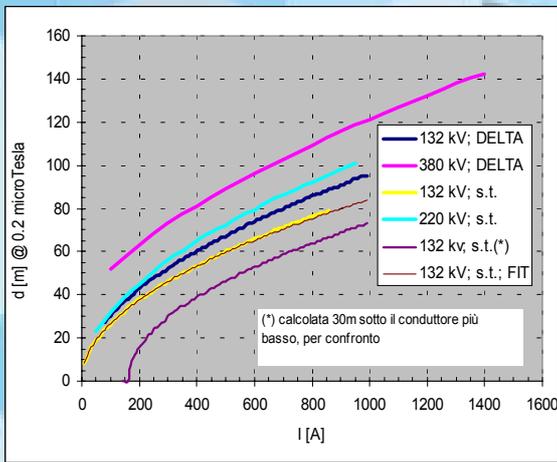


Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia

ELETTRODOTTI SUL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI UDINE VALUTAZIONE D'IMPATTO SULLA POPOLAZIONE



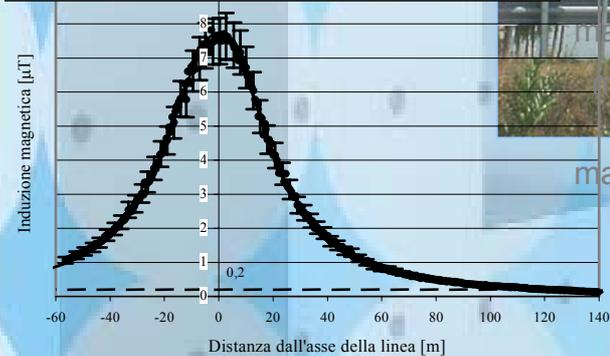
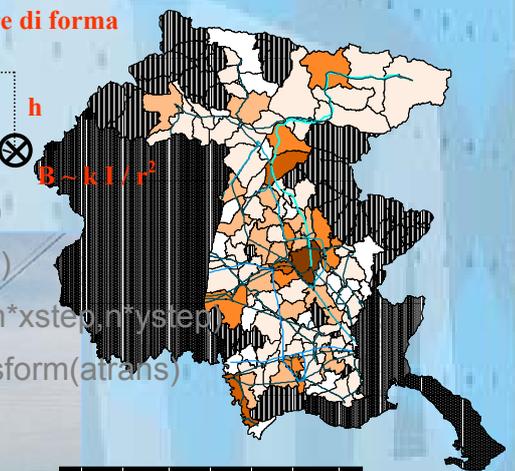
mainindex=0
for each m in 0..(xnum-1)

for each n in 0..(ynum-1)

point_mn=point.make(m*xstep,n*ystep)

mainpoint=point_mn.transform(atrans)

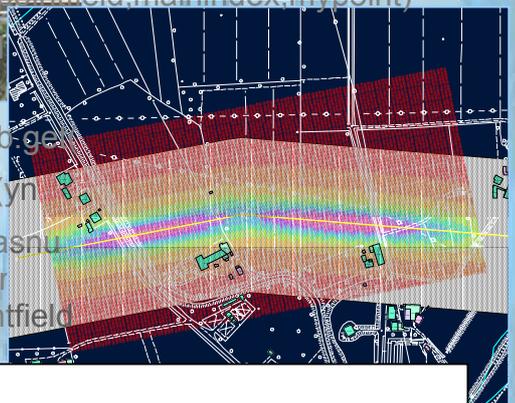
mainFTab:setrecord



```

mainFTab.setvalue(mainindex,mainpoint)
mainindex=mainindex+1
mainFTab.setvalue(mainindex,mainpoint)
for each nny in 0..(ynum-1)
Indmagn=lf.readelt.asn
mainFTab.setvalue(mainindex,mainpoint)
returnvalue(mainpointfield)

```



Relazione finale

RESPONSABILE DEL PROGETTO

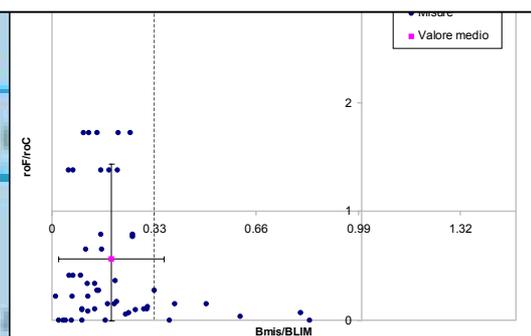
Renato Villalta

REFERENTE

Anna Bampo

ELABORAZIONE

Francesco Montanari Alessandra Petrini
Massimiliano Benes Luca Piani
Moreno Comelli Francesca Tassan Mazzocco



“Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell’impatto sulla popolazione.”
Relazione conclusiva.

Indice

- 1. Conoscenza approfondita del tracciato e delle caratteristiche degli elettrodotti in provincia di Udine**
 - 1.1 Introduzione*
 - 1.2 Formato dei dati e accesso al database*
 - 1.3 Glossario*
 - 1.4 Bibliografia*
- 2. Valutazione dei livelli di campo magnetico prodotti dagli elettrodotti e del numero di edifici presenti all’interno di prefissate fasce di attenzione**
 - 2.1 Introduzione*
 - 2.2 Validazione del software previsionale CMagnetico*
 - 2.3 Integrazione del software previsionale con il catasto degli elettrodotti in ambiente GIS*
 - 2.4 Studio dei criteri per la determinazione delle fasce di attenzione*
 - 2.5 Bibliografia*
- 3. Valutazione preventiva dell’entità della popolazione esposta a prefissati valori di induzione magnetica e conseguente individuazione dei siti sensibili**
 - 3.1 Introduzione*
 - 3.2 Valutazione dell’impatto delle linee AT/AAT sulla popolazione, in termini di esposizione al campo di induzione magnetica: costruzione di un opportuno indicatore*
 - 3.3 Rapporto con le Amministrazioni comunali. Qualità dei dati raccolti*
 - 3.4 Il database georeferenziato degli edifici interessati dall’indagine*
 - 3.5 Individuazione delle situazioni maggiormente critiche*
 - 3.6 Bibliografia*
- 4. Effettuazione delle misure di campo magnetico nei siti sensibili secondo priorità individuate dallo sviluppo dei punti precedenti**
- 5. Progetto per il proseguimento dello studio**
 - 5.1 Punti di monitoraggio*
 - 5.2 Volumi di monitoraggio*
 - 5.3 Strategia di monitoraggio.*
- 6. Addendum I: Integrazione con i dati di CORINE Land Cover**
- 7. Addendum II: Rassegna degli studi sugli effetti derivanti dall’esposizione a campi elettromagnetici a frequenza industriale**
 - 7.1 Introduzione*
 - 7.2 L’interazione fra campi elettromagnetici e sistemi biologici*
 - 7.3 Studi epidemiologici*
 - 7.4 Studi in vivo*
 - 7.5 Studi in vitro: l’interazione biofisica con i campi ELF*
 - 7.6 Bibliografia*

1. Conoscenza approfondita del tracciato e delle caratteristiche degli elettrodotti in provincia di Udine

1.1 Introduzione

Le linee di trasmissione e/o distribuzione dell’energia elettrica ad alta (AT) ed altissima tensione (AAT) [1] interessano il territorio della provincia di Udine con poco meno di 3800 campate, per uno sviluppo complessivo di circa 1024 km, suddivisi come segue: 644 km di linee a 132 kV; 96 km di linee a 220 kV; 107 km di linee a 380 kV; 177 km di linee a 60 kV.

Le linee a 380 e 220 kV fanno parte della Rete Trasmissione Nazionale (RTN), di patrimonio della società TERNA S.p.A. e gestite dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN S.p.A.).

Per quanto riguarda la provincia di Udine, gli interventi di manutenzione sono a cura della TERNA e vengono eseguiti tramite il Gruppo Operativo Linee di Basiliano (GOLBA).

Sul territorio regionale sono, inoltre, presenti linee di trasmissione e/o distribuzione a 132 kV gestite da ENEL Distribuzione S.p.A., TERNA, RFI – Rete Ferroviaria Italiana S.p.A., Caffaro S.p.A., Edison Energia.

Infine, vi è una doppia linea elettrica a 60 kV gestita da RFI.

Linee	Km	Tensione	Proprietà	Gestione d’esercizio	Manutenzione
4	107	380 kV	TERNA	GRTN	TERNA
5	96	220 kV	TERNA	GRTN	TERNA
9	137	132 kV	TERNA	GRTN	TERNA
33	378	132 kV	ENEL Distrib.	ENEL Distrib.	TERNA
1	2	132 kV	Caffaro	Caffaro	Caffaro
1	42	132 kV	Edison Energia	Edison Energia	Edison Energia
3	87	132 kV	R.F.I.	R.F.I.	R.F.I.
1	177	60 kV	R.F.I.	R.F.I.	R.F.I.

Nella prima fase del progetto sono stati acquisiti i tracciati delle linee, per lo più forniti dagli Enti proprietari su supporto cartaceo, e georeferenziati sulla Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN); i dati sono stati organizzati in due database, uno per i sostegni (tralicci) ed uno per le campate, collegati ciascuno ad un file di tipo ESRI .shp, che ne consente la visualizzazione con i programmi GIS più diffusi.

Ciò ha permesso l’individuazione di una fascia di attenzione di 400m, centrata sull’asse di ciascuna campata: tutti gli edifici, presenti sulla CTRN, totalmente o parzialmente interessati da tale fascia sono stati a loro volta inseriti in un database dello stesso tipo.

Nel contesto di questo studio ci si interessa, oltre al tracciato degli elettrodotti, a tutte quelle caratteristiche di costruzione (sbracci dei sostegni, quote d’attacco dei conduttori) ed esercizio (correnti) che concorrono a determinare la mappa del campo magnetico nello spazio circostante e la conseguente esposizione della popolazione: i campi dei database sono stati costruiti in modo da soddisfare questa esigenza, conformemente alle linee guida tracciate dall’Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente[2] (oggi APAT) e dal gruppo di lavoro cEr/CeN dell’ENEA[3] per la realizzazione delle banche dati delle sorgenti di inquinamento elettromagnetico.

Tale approccio è finalizzato alla possibilità di effettuare delle simulazioni attendibili della mappa del campo magnetico prodotto dalle linee AT/AAT, utilizzando programmi sviluppati per tale scopo.

I tracciati degli elettrodotti ed i dati tecnici riguardanti tralicci e conduttori sono stati forniti dai proprietari delle linee a volte in modo incompleto ed in mancanza di garanzie concernenti l’aggiornamento e la precisione degli stessi dati, a causa della difficoltà e del tempo richiesto per il reperimento e la verifica della grande quantità di informazioni richieste.

Si ritiene, tuttavia, di poter riconoscere agli Enti gestori e proprietari delle linee di aver garantito complessivamente un buon livello di collaborazione, sia per quanto riguarda la mole dei dati forniti che nei tempi di risposta, anche

tenendo conto dell’indisponibilità di strumenti impositivi, da parte questa Agenzia, nelle richieste di dati finalizzati alla conduzione del presente Studio.

L’alimentazione del database con dati *validati*, inerenti le caratteristiche tecniche e d’esercizio degli elettrodotti, potrà avvenire di volta in volta nell’espletamento delle funzioni esplicitamente attribuite ad ARPA dalla L.36/01 e dal D.P.C.M. 8.7.03, e cioè nei procedimenti di verifica del rispetto dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, nella previsione delle *fasce di rispetto* di cui all’art. 5 del succitato decreto, nell’acquisizione dei tracciati trimestrali delle correnti.

In tali occasioni, agli enti interlocutori verrà chiesta la piena assunzione di responsabilità riguardo a quanto comunicato; la medesima procedura verrà adottata qualora questa Agenzia sia coinvolta nelle procedure di Valutazione d’Impatto Ambientale per la costruzione o la modifica di elettrodotti.

A questo riguardo, si prevede di inserire nelle tabelle del database un ulteriore campo, con una variabile *flag*, tale da indicare la qualità del *record* di dati ad essa corrispondente (ad esempio: dati *validati* dal gestore/proprietario della linea; dati *validati* per mezzo di osservazioni/misure sul territorio; dati non validati).

La struttura delle tabelle contenenti i dati tecnici costruttivi degli elettrodotti viene illustrata di seguito; il contenuto dei campi di significato più tecnico viene descritto nel Glossario.

Va segnalata l’anomalia relativa alla linea a 132 kV Istrago – Torviscosa, di proprietà Edison Energia, non individuata durante la prima fase del progetto a causa di un fraintendimento riguardante l’evoluzione dell’assetto societario delle società Edison rete, Caffaro e Caffaro Energia, che non ha inizialmente consentito di identificare Edison Energia come uno dei proprietari degli elettrodotti di interesse per il presente Studio.

Avuta notizia dell’esistenza di tale linea elettrica, essa è stata individuata e georeferenziata per mezzo della Carta Tecnica Regionale Numerica e la richiesta dei dati mancanti per il completamento del catasto inoltrata ad Edison Rete (nota di questa Agenzia prot. n. 8431/2004/TQ/RD/118 dd 03.06.04).

1.2 Formato dei dati ed accesso alle tabelle *Campate e Sostegni*

I dati sono contenuti nella cartella */Elettrodotti_Ud* del CD allegato; nel caso si disponga di un software GIS, come MapInfo, si accede ai temi *buffer_200m.shp*, *edifici_200m.shp*, *campate.shp*, *comuni.shp*, *sostegni.shp*. Ciascuno di tali temi è collegato ad una tabella omonima, in formato *.dbf.

1.2.1 Descrizione dei temi:

- *buffer_200m*: definisce una zona di prima analisi di 200m per ogni lato delle linee AT/AAT (consistentemente con le Linee Guida di ANPA [1]);
- *campate*: contiene la rappresentazione georeferenziata, sotto forma di segmenti di linea, delle campate degli elettrodotti;
- *comuni*: contiene i tracciati dei confini comunali;
- *edifici_200m*: contiene la rappresentazione georeferenziata, sotto forma di poligoni, degli edifici interessati dalla zona di prima analisi;
- *go_pn_ts.shp*: contiene la rappresentazione georeferenziata dei confini delle province di Gorizia, Pordenone, Trieste;
- *sostegni*: contiene la rappresentazione georeferenziata, sotto forma di punti, dei tralicci che sostengono le linee AT/AAT.

1.2.2 Campi del database *campate.dbf*:

<i>Campo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Caratteri (Decimali)</i>	<i>Descrizione</i>
IdCamp	String	16	Identificativo univoco della campata nel database
Camp_ass	String	16	Identificativo univoco della campata associata, nel caso di campate appartenenti a linee distinte, associate ai medesimi tralicci

Pic_prec	String	16	Identificativo, riconosciuto dal Gestore, del sostegno precedente la campata
Pic_succ	String	256	Identificativo riconosciuto dal Gestore, del sostegno seguente la campata
Lunghezza	Number	16 (5)	Lunghezza della campata [m]
Media_corr	Number	8(2)	Corrente media (aggiornata all’anno 2002) [A]
H_minima	Number	8(5)	Altezza del punto di franco minimo [m]
T_p	Number	16(5)	Parametro della catenaria [m]
Fm_succ	Number	16(5)	Distanza del punto di franco minimo dal traliccio di inizio della campata [m]
95_percent	Number	8(2)	95° percentile dei valori di corrente annuali [A]
Type	String	1	Tipologia di disposizione dei conduttori ai fini del calcolo delle fasce di attenzione
Cond	String	256	Tipo di conduttore
Line	String	5	Codice della linea
Tens	Number	3	Tensione di esercizio nominale

1.2.3 Campi del DataBase *sostegni.dbf*:

<i>Campo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Caratteri (Decimali)</i>	<i>Descrizione</i>
Gestore	String	16	Gestore della linea cui appartiene il traliccio
Codlinea	String	16	Codice della Linea cui appartiene il traliccio
Propr	String	256	Proprietario della linea
Linea	String	256	Nome della Linea cui appartiene il traliccio
Terna_ass	String	16	Codice della terna associata (sosteuta dal medesimo traliccio), se presente
Tratto	String	256	Indicazione del tratto di appartenenza del sostegno
Provincia	String	16	Provincia nel cui territorio insiste il sostegno
Comune	String	256	Provincia nel cui territorio insiste il sostegno
Ctrn	String	16	Carta Tecnica Regionale Numerica in cui si georeferenzia il sostegno
Tensione	String	16	Tensione nominale della linea (“132 kV”, “380 kV”, “220 kV”)
Numpic	String	16	Identificativo del sostegno lungo la linea, attribuito dal Gestore
X_coord	Number	16(5)	Coordinata Nord del sostegno (sistema Gauss - Boaga)
Y_coord	Number	16(5)	Coordinata Est del sostegno (sistema Gauss - Boaga)
Quota_slm	Number	16(5)	Quota sul livello del mare della base del sostegno [m] Il dato è desunto dai profili altimetrici della linea forniti dal Gestore, ove disponibile
Tipo_palo	String	16	Tipo sostegno, riconosciuto dal Gestore
Armamento	String	16	Tipo di armamento
Min	Number	16(5)	Quota slm d’attacco fune minima [m]

Med	Number	16(5)	Quota slm d’attacco fune media [m]
Max	Number	16(5)	Quota slm d’attacco fune massima [m]
Fm_h	Number	16(5)	Quota slm del punto di minimo della catenaria [m]
Note	String	256	Note
Terna_ass	String	16	Terna associata nei tratti in doppia terna
Elevation	Number	16(5)	Quota slm del sostegno desunta dalla CTRN [m]
S_min	Number	7(5)	Sbraccio dell’attacco del conduttore più basso [m]
S_med	Number	7(5)	Sbraccio dell’attacco del conduttore medio [m]
S_max	Number	7(5)	Sbraccio dell’attacco del conduttore più alto [m]
Catena	Number	7(5)	Lunghezza dell’isolatore (nulla se in <i>ammarro</i>) [m]
Dy_maxmin	Number	7(5)	Differenza di quota fra l’attacco della fune minima e la massima [m]
H_min	Number	7(5)	Altezza della mensola minima [m]
H_med	Number	7(5)	Altezza della mensola media [m]
H_max	Number	7(5)	Altezza della mensola massima [m]
H_fdg	Number	7(5)	Altezza della fune di guardia [m]
Angle	Number	7(5)	Angolo di orientazione del traliccio [°] desunto dalla CTRN
Mensole	String	256	Tipo di mensolatura

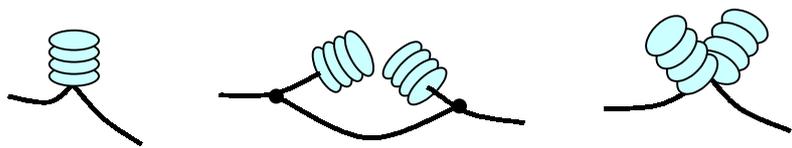
Si osservi come il database *sostegni.dbf* contenga alcuni campi che, ai fini della descrizione dei tralicci, sono sovrabbondanti (per esempio, la differenza di altezza [*Dy_maxmin*] fra l’attacco del conduttore più alto e quello minimo può essere naturalmente ricavata dalla coppia di valori (*[H_max],[H_min]*). Tuttavia, venendo i dati forniti dai gestori con una grande varietà di convenzioni e con numerose lacune, si è preferito mantenere integra la struttura del database per facilitare integrazioni successive ai dati.

Per la stessa ragione nel database *campate.dbf*, oltre al parametro di tesatura dei conduttori, appaiono nella tabella i campi destinati a descrivere la posizione del punto di minimo della campata.

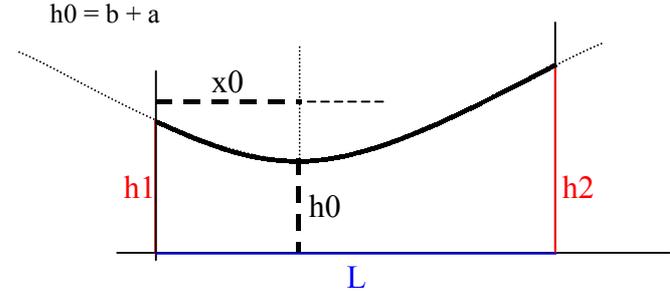
Si è previsto anche di mantenere il valore della quota s.l.m. dato dal gestore e quello desunto dalla CTRN, in attesa di verificare l’attendibilità e la consistenza dei dati.

In Tavola 1.1: schermata di ArcView© GIS 3.2 contenente elementi dei *tematismi* predisposti in questa prima fase del presente Studio; in Tavola 1.2: visualizzazione schematica di alcuni campi del database *sostegni.dbf*.

1.3 Glossario

<i>Termine</i>	<i>Descrizione</i>
Armamento	<p>Indica la modalità di attacco del conduttore al sostegno, mediante catene di isolatori.</p> <p>L’armamento può essere realizzato in <i>ammarro</i> o in <i>sospensione</i>, e può essere <i>singolo</i>, <i>doppio</i> o a <i>V</i>. E’ in ammarro quando il conduttore si interrompe fra due campate e ciascuna cima viene retta per mezzo di una propria catena degli isolatori; in questo modo gli isolatori si allineano consistentemente con il conduttore stesso. La continuità della linea viene garantita da un ponte.</p> <p>Il conduttore è in sospensione quando è unico, fra due campate successive, e viene appeso in un punto per mezzo di una catena di isolatori. In tal caso è opportuno che la trazione esercitata dalle due campate sul sostegno sia uguale e contraria, disponendo gli isolatori verticalmente. Va inoltre notato che tale forza varia con la temperatura e la conseguente dilatazione del conduttore.</p> <p>La prima soluzione viene dunque tipicamente adottata nei tratti di elettrodotto non rettilinei, fra campate fortemente disomogenee per lunghezza e caratteristiche del conduttore, o quando si renda necessario aumentare la distanza dei conduttori dal suolo in tratti già esistenti.</p> <p>Le doppie catene di isolatori vengono utilizzate per ragioni di sicurezza (qualora, per esempio, la campata attraversi strade o aree frequentate).</p> <p>Nella documentazione riguardante l’armamento dei tralicci vengono utilizzate le seguenti indicazioni:</p> <p>S=sospensione; A=ammarro; D=doppia catena di isolatori; S=singola catena di isolatori; oppure i simboli:</p> <p>⊥, ≡ Sospensione con singola, doppia catena di isolatori A, ≡ Ammarro con singola, doppia catena V, ∨ catene di isolatori disposte a V (solo per le linee a 380 kV)</p>  <p>(in Figura: armamento in sospensione singola, in ammarro singolo ed ‘a V’ singola)</p>
Campata	Percorso della linea fra due sostegni successivi.
Codice linea	<p>Codice numerico in 5 cifre che identifica le linee ENEL e TERNA; le prime due cifre indicano il gestore e la tensione d’esercizio:</p> <p>21: TERNA, 380 kV; 22: TERNA, 220 kV; 23: TERNA, 132 kV; 28: ENEL Distrib., 132 kV;</p> <p>Le ultime tre cifre identificano una <i>terna</i>, o <i>linea</i>.</p> <p>Oltre a tali codici, riconosciuti da gestori e proprietari della linee, nel database sono stati associati, per sola comodità di gestione, codici numerici anche alle linee RFI, Caffaro, Edison Rete.</p>
Ctrn	Carta Tecnica Regionale Numerica
Fase	Le linee AT sono a tre fasi, in ciascuna delle quali la tensione è in anticipo o in ritardo di 1/3 di periodo rispetto alle altre (convenzionalmente tale sfasamento si esprime in gradi

	angolari: 120° corrisponde ad 1/3 del periodo). Sono indicate convenzionalmente con sigle come 4,8,12, o con i colori <i>rosso, giallo, verde</i> .
Fune di guardia	E’ una fune metallica, non in tensione e messa a terra attraverso i sostegni, tenuta sospesa sopra le terne di conduttori con funzione di parafulmine.
Gestore	Gestore di linea (ENEL Distribuzione, TERNA, GRTN, RFI, Caffaro), distinto dal proprietario.
Punto di Franco Minimo	Punto di minima distanza del conduttore dal terreno o dai manufatti sottostanti (normato da CEI, 11-4).
Tipo sostegno	<p>Codice che identifica le caratteristiche geometriche di un traliccio, rimandando a specifici disegni quotati allegati alla documentazione della linea cui il traliccio appartiene.</p> <p>Per le linee costruite prima del 1970 incontriamo, per esempio, sostegni di tipo TN0+2, TN5+6, T6N0,T6A40,ΔA30+2 ed altri.</p> <p>La <i>T</i> iniziale indica che il sostegno è costituito da un traliccio ai cui lati vengono innestate le <i>mensole</i> a sbraccio, ed è seguito dal <i>6</i> quando regge due terne (tre mensole per lato); la <i>Δ</i> qualifica i sostegni con testa a delta, in cui i tre conduttori sono sospesi tutti alla stessa altezza.</p> <p>La <i>N</i> seguente indica che il sostegno è <i>normale</i>: si tratta normalmente di sostegni in <i>sospensione</i>, posti in tratti rettilinei (segue lo 0), o adatti a sopportare piccoli angoli (segue il 5, che va inteso in gradi).</p> <p>La <i>A</i> corrisponde ad armamenti in <i>ammarro</i>, adatti ad angoli maggiori (10°-90°).</p> <p>Il simbolo + seguito da un numero, da intendere in metri, segnala l’innalzamento del sostegno rispetto allo standard assunto (indicato con il +/-0 finale).</p> <p>Mentre questo tipo di codifica può riconoscersi in molte linee, di tutti i gestori, i disegni effettivi cui essa rimanda cambiano da linea a linea.</p> <p>I tralicci posti in opera dopo il 1970 rispondono alla cosiddetta <i>Unificazione ENEL</i>, che codifica in modo univoco le componenti utilizzate nella realizzazione.</p> <p>In questo caso sono adottate sigle come N12, E21, M24, MY27. La parte alfabetica qualifica il tipo di sostegno (N – normale; M – medio; E – estremo; Y – testa a Δ), per ciascuno dei quali è previsto univocamente l’utilizzo in sospensione o in ammarro; il numero indica l’altezza cui viene sospesa la fune ad altezza minima. Il gruppo delle mensole effettivamente utilizzato viene codificato a parte (sigle come B0,B1,A0,A1,BG0): a ciascuna sigla corrispondono sbracci ed altezze relative diverse.</p>
Tratto	Le linee sono divise in tratti, ciascuno dei quali omogeneo per almeno una caratteristica (singola o doppia terna; corrente attraversata; anno di costruzione o di modifica)
Mensole	Gli sbracci dei tralicci che reggono i conduttori.
Codice conduttore	E’ una sigla che indica il tipo di conduttore: frequente è l’uso di conduttori con nucleo alluminio e rivestimento in acciaio (p.e., quelli con sezione di 307mm ²). Il primo garantisce buone caratteristiche di conduzione, economicità e leggerezza, il secondo di resistenza.
Parametro conduttore	Indicato come T/P o C, è definito come il <i>tiro</i> del conduttore sospeso in campata [kg] diviso per il suo peso per unità di lunghezza [kg/m]; ha dunque le dimensioni di una lunghezza ed è lo stesso parametro che compare nella definizione della curva <i>catenaria</i> , che descrive la forma della fune sospesa ai due estremi. Per ogni campata, tale parametro è soggetto a variazioni con le condizioni atmosferiche; può trovarsi stimato in condizioni standard EDS (15°), di massima <i>freccia</i> MFB (40°), oppure MPB (-20°). Nel secondo caso, il conduttore raggiunge la minima distanza dal terreno; nell’ultimo, esercita la massima trazione sui sostegni.
Catenaria	Funzione matematica, definita come $f(x;a) = a \cdot \cosh(x/a) = \frac{1}{2} a (\exp(-x/a) + \exp(x/a))$

	<p>che, si dimostra, descrive la forma assunta da una corda sospesa a due estremi, essendo a definito come il rapporto fra la tensione della corda ed il suo peso per unità di lunghezza.</p> <p>Nel contesto delle linee AT, per poter ottenere l’effettiva disposizione delle funi in campata nel sistema di riferimento desiderato si aggiungono due parametri:</p> $h(x; a, x_0, b) = b + f((x- x_0);a)$ <p>In tal modo, il punto minimo della curva viene raggiunto in x_0 ed ha valore $(b+a)$; a viene espresso normalmente in metri ed indicato come T/P (tiro/peso).</p> <p>Nel caso in cui (a, x_0, b) siano tutti o in parte ignoti, detti L la lunghezza della campata, h_1 e h_2 l’altezza dei punti d’attacco della fune sui due tralicci, ed h_0 l’altezza del punto di minimo, è possibile determinare univocamente la curva h, noti che siano i valori per un opportuno sottinsieme di $\{a, x_0, b, L, h_1, h_2, h_0\}$.</p> <p>Con un’approssimazione parabolica (sviluppo in serie di Taylor al II ordine) si ottiene infatti:</p> $h(x; a, x_0, b) \sim b + a + 1/(2a) (x-x_0)^2$ <p>e dunque, nota l’appartenenza alla curva dei punti $(0,h_1)$, (x_0,h_0), (L,h_2), i parametri ignoti possono essere dettrminati dalle sequenti equazioni:</p> $h_1 = b + a + 1/(2a) x_0^2$ $h_2 = b + a + 1/(2a) (L-x_0)^2$ $h_0 = b + a$  <p>(in Figura: parametri che concorrono alla determinazione della curva catenaria)</p>
Cimino	<p>E’ la cuspide che sostiene la fune di guardia in cima ai tralicci; tipicamente è più allungata quando i conduttori sono sospesi in ammarro, in modo tale che venga rispettata la minima distanza fra conduttore e punti al potenziale di terra (in questo caso, la f.d.g.).</p>

1.4 Bibliografia

1. MINISTERO DELL'INDUSTRIA, DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO, “*Determinazione dell’ambito della rete elettrica di trasmissione nazionale, decreto 25 giugno 1999*”, supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale, Serie generale, n. 151 del 30 giugno 1999
2. G.D’Amore et al., “*Standard per la realizzazione delle banche dati delle sorgenti di inquinamento elettromagnetico (alte e basse frequenze)*”, ANPA RTI CTN_AGF 4/2001 (2001)
3. D.Andreuccetti et al., “*Specifiche tecniche per la realizzazione del Catasto Elettromagnetico Nazionale e dei Catasti Elettromagnetici Regionali*”, ENEA cEr/CeN, rev.3/1 (2001)

2. Valutazione dei livelli di campo magnetico prodotti dagli elettrodotti e del numero di edifici presenti all’interno di prefissate fasce di attenzione

2.1 Introduzione

L’utilizzo di software previsionali per la valutazione del campo di induzione magnetica prodotto dagli elettrodotti è previsto dalla normativa nazionale [1], dalla guida CEI di riferimento [2] e dalle Linee Guida ANPA [3].

ARPA FVG ha acquisito, a tal fine, presso l’APPA di Trento, il programma CMagnetico [4,5], realizzato dall’Istituto Trentino di Cultura e presente nell’elenco dei software previsionali accettati da ANPA.

La consistenza fra CMagnetico e la strumentazione e procedure di misura adottate da ARPA FVG è stata verificata in una campagna di misure organizzata a tale scopo, come descritto al paragrafo 2.2.

Si ritiene, tuttavia, che tale verifica non esaurisca completamente i problemi connessi all’utilizzo del software previsionale, legati soprattutto alla *qualità dei dati* contenuti nel catasto delle linee (si veda, a tale riguardo, le note introduttive al capitolo 1 ed il capitolo 5 della presente relazione).

CMagnetico è stato quindi integrato con il catasto degli elettrodotti, costituito nelle fasi precedenti di questo studio, realizzando un apposito pacchetto di routines che gestisce il trasferimento di dati fra l’ambiente GIS ARCVIEW 3.2 ed il software previsionale, come descritto nel paragrafo 2.3.

Dopo l’analisi della normativa regionale della Regione Veneto [6] e di altre fonti [7], si sono elaborati dei criteri per la definizione di fasce di rispetto tali da ritenere che il livello del campo di induzione magnetica all’esterno di tali fasce sia inferiore a $0.2\mu\text{T}$, come descritto nel paragrafo 2.4.

Va osservato che, sebbene il D.P.C.M. 8-7-2003 fissi a $3\mu\text{T}$ l’obiettivo di qualità per l’induzione magnetica, inteso come mediana dei valori nell’arco delle 24 ore nelle condizioni normali di esercizio, si è preferito in questa fase del presente lavoro mantenere la soglia di riferimento pari al valore previsto dalla succitata normativa regionale ed assunto come soglia di attenzione epidemiologica in diversi studi [8].

La definizione delle fasce di attenzione per le varie linee ha consentito di individuare gli edifici effettivamente interessati (paragrafo 2.5), dopo che nelle fasi precedenti del progetto si era provveduto a ricavare dalla Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN) tutte le costruzioni distanti meno di 200m dall’asse degli elettrodotti.

2.2 Validazione del software previsionale CMagnetico

Nel caso di elettrodotti costituiti da un’unica linea, in assenza di altre sorgenti ELF vicine, il valore dell’induzione magnetica in prossimità della linea risulta direttamente proporzionale all’intensità di corrente circolante.

In questo caso, ottenuti dall’ente gestore i dati di corrente istantanea, è possibile stimare la consistenza tra i valori misurati di induzione magnetica e le simulazioni realizzate utilizzando un software previsionale.

Con l’ausilio del database degli elettrodotti, sviluppato nell’ambito di questo stesso studio, è stato possibile individuare sulla CTRN due linee a 380 kV, idonee per questo tipo di test.

In Tavola 2.1: Figura 1 mostra la linea 21347 Planais-Salgareda, presso il sostegno 142, Figura 2 rappresenta la linea 21356 Planais-Redipuglia, in prossimità del sostegno 160.

Sono state eseguite due misure di profilo dell’induzione magnetica trasversalmente alle linee utilizzando il sistema di misura EMDEX II nella versione LINDA, in cui lo strumento palmare viene fissato su di una rotella munita di contagiri [9]. Nelle Figure 1 e 2 viene mostrato sia il percorso sulla CTRN che il confronto, per il profilo dell’induzione magnetica, tra le misure ed il calcolo effettuato con CMagnetico.

I valori di corrente circolante durante l’esecuzione delle misure, utilizzati come dati di ingresso per la simulazione del campo, sono stati forniti dal GRTN; i parametri geometrici relativi ai tralicci ed alla tesatura dei conduttori erano stati forniti dalla società TERNA, proprietaria degli elettrodotti.

È anche possibile desumere dai grafici l’estensione della fascia con valori superiori agli $0,2\mu\text{T}$. Su tali dati è stato condotto uno studio del chi quadrato ridotto $\tilde{\chi}^2$ [10]. È stato assunto un errore sperimentale del 3%, come riportato nel manuale d’uso dello strumento, al quale viene sommata in quadratura la fluttuazione percentuale di corrente, ricavabile dai dati forniti dall’ente gestore. Nel caso della linea 21347, per un valore della corrente di $130 \pm 50\text{ A}$ (a fronte di una corrente media di 284 A e 95° percentile di 736 A nell’anno 2002), il valore del $\tilde{\chi}^2$ con 84 gradi di libertà risulta pari a 1,0. Nel caso della linea 21356, per un valore della corrente di $1110 \pm 90\text{ A}$ (a fronte di una corrente media di 899 A e

95° percentile di 1811 A nell’anno 2002), è stato ottenuto un $\tilde{\chi}^2$ con 200 gradi di libertà pari a 0,6. In nessun caso il valore del $\tilde{\chi}^2$ ottenuto comporta il rigetto dell’ipotesi di consistenza fra le misure e la simulazione, fissata al 5% la soglia di rigetto. Il valore inferiore all’unità ottenuto nel test del $\tilde{\chi}^2$ nel secondo caso induce piuttosto a ritenere che le incertezze relative ai dati siano state sovrastimate.

Per una discussione più approfondita inerente le misure e la predicibilità dei valori di induzione magnetica a partire dai valori di corrente circolante nelle linee si rinvia a i capitoli 4 e 5 di questo documento.

2.3 Integrazione del software previsionale con il catasto degli elettrodotti in ambiente GIS

Al fine di agevolare e rendere più efficaci le campagne di misura previste nella terza fase di questo studio, si è ritenuto opportuno integrare CMagnetico con il catasto degli elettrodotti. Il catasto realizzato, sebbene presenti una struttura delle tabelle semplificata rispetto al modello proposto da ANPA [11], rispetto a questo mantiene intatto il contenuto di informazione, che è tale da consentire l’effettuazione delle simulazioni quando:

- non vi sia sovrapposizione significativa del campo prodotto da linee indipendenti: essendovi infatti uno sfasamento arbitrario fra le correnti circolanti, il campo magnetico risultante è imprevedibile;
- i proprietari ed i gestori degli elettrodotti abbiano risposto in modo esauriente alle richieste di questa Agenzia.

Il problema dell’integrazione desiderata si configura nei termini seguenti:

- 1) esportazione dall’ambiente GIS dei dati necessari all’effettuazione della simulazione con CMagnetico;
- 2) importazione nell’ambiente GIS dei risultati della simulazione effettuata con CMagnetico;

2.3.1 Esportazione dall’ambiente GIS dei dati necessari all’effettuazione della simulazione con CMagnetico

CMagnetico prevede normalmente l’inserimento manuale dei dati (valori di corrente, geometria della campate e dei tralicci) in un’apposita schermata (Tavola 2.2); tali dati vengono quindi salvati in un file con estensione *.lcm, dopo una opportuna elaborazione, per poter essere caricati nuovamente in un altro modulo del programma e costituire la base per una simulazione.

L’esportazione automatica dei dati avviene con la creazione del file *.lcm direttamente da ArcView.

Dopo che sul display sono state selezionate le campate per le quali si intende effettuare la simulazione, può essere lanciato lo script Avenue *Simul_launch.ave* di ArcView, che esegue le seguenti operazioni principali:

- 1.a) legge i dati delle campate selezionate nella tabella associata al file Campate.shp (corrente media, parametro della catenaria, numero di linea, codice dei sostegni precedenti e seguenti ciascuna campata) ed i dati dei sostegni corrispondenti nella tabella associata a Sostegni.shp (coordinate Gauss-Boaga, quote altimetriche d’attacco dei conduttori, sbracci delle mensole, lunghezza degli isolatori);
- 1.b) richiede l’inserimento dei parametri di campionamento da utilizzare per la simulazione (numero di punti nelle tre direzioni; distanza fra i campioni nelle tre direzioni; origine del reticolo di simulazione);
- 1.c) elabora i dati reperiti nelle tabelle (ad esempio: calcola le coordinate e la quota del punto di minimo della catenaria per ciascuna campata; definisce il sistema di riferimento per la simulazione e ricalcola le coordinate di tutti gli oggetti interessati in funzione di esso);
- 1.d) genera un file di testo ASCII, richiedendone interattivamente il nome all’utente, contenente i dati elaborati;
- 1.e) lancia il codice Java che traduce il file ASCII in un file *.lcm in cui i dati sono scritti in forma binaria;

I dettagli di quanto realizzato a questo riguardo sono illustrati nell’Appendice A dell’elaborato conclusivo della fase II di questo studio (31/10/03).

2.3.2 Importazione nell’ambiente GIS dei risultati della simulazione effettuata con CMagnetico

Dopo l’esecuzione della simulazione, CMagnetico scrive un file binario *.vcm, contenente i dati della simulazione. *Simul_launch.ave* esegue quindi le operazioni seguenti:

- 2.a) genera uno ShapeFile di Arcview di tipo puntuale, destinato alla visualizzazione della simulazione, con dimensioni, numero di punti e georeferenziazione opportuni;

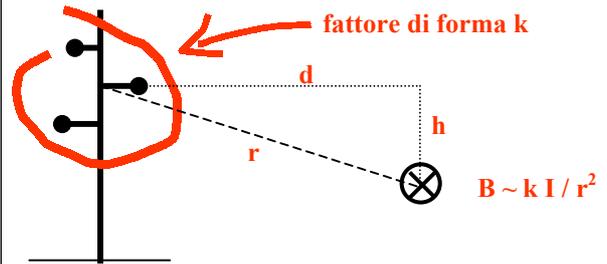
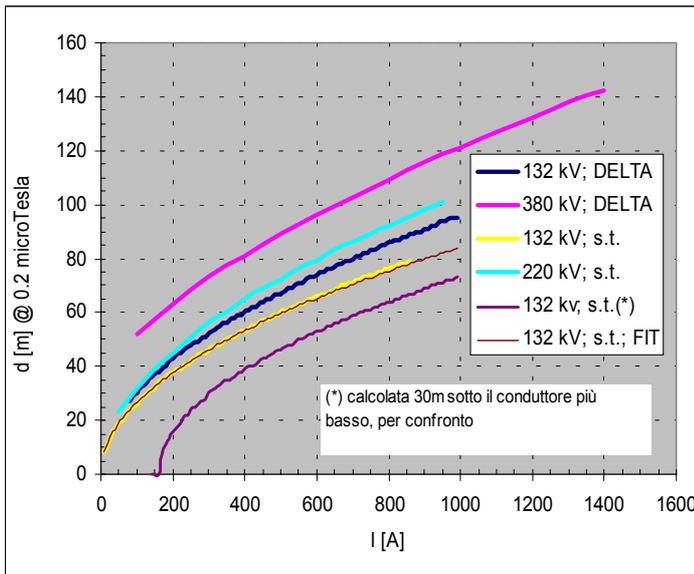


Figura 2.1: Nel grafico, estensione delle fasce di rispetto in funzione della corrente circolante, per le tipologie di linea individuate. Nel caso del tipo 132kV; singola terna, viene evidenziata la sovrapposizione fra l’andamento ricavato dal calcolo con CMagnetico e la funzione assunta a modello. Nel disegno, le considerazioni che portano alla scelta del modello.

2.b) attribuisce a ciascun punto dello ShapeFile precedente i valori di campo simulati alle diverse quote;

I dettagli di quanto realizzato a questo riguardo sono illustrati I dettagli di quanto realizzato a questo riguardo sono illustrati nell’Appendice A dell’elaborato conclusivo della fase II di questo studio (31/10/03).

2.4 Studio dei criteri per la determinazione delle fasce di attenzione

Si intende determinare delle fasce di attenzione tali che i valori di campo esternamente a tali fasce siano inferiori di una soglia prefissata.

Per ottenere un modello applicabile a tutte le linee, si ricorre ad alcune ipotesi semplificative e cautelative:

- i conduttori sono considerati essere perfettamente tesi;
- le campate infinitamente lunghe e rettilinee;
- si individuano 6 tipologie di linea – intesa come disposizione geometrica delle mensole e, dunque, dei punti di sospensione dei conduttori.

La procedura adottata si basa sull’osservazione che il modulo del campo di induzione magnetica generato da una singola terna equilibrata ha un andamento approssimabile ad $1/r^2$, dove r è la distanza dal baricentro fra i conduttori [2, 12].

Una giustificazione intuitiva di tale comportamento si ottiene ricordando che la legge di Biot – Savart prevede, nel caso un conduttore rettilineo infinito percorso da corrente, un andamento del campo di induzione magnetica inversamente proporzionale alla distanza dal filo.

Per una terna equilibrata, essendo nulla la corrente totale che attraversa una sezione della linea, si perde tale dipendenza del tipo $1/r$ e, per $r \gg 1$, il termine dominante è $1/r^2$.

A ciascuna tipologia di linea si può allora associare un *fattore di forma* k [$\mu T m^2 A^{-1}$] tale che, essendo I [A] la corrente in ciascun conduttore:

$$B \sim k I / r^2$$

Fissato un valore di riferimento B_0 , con riferimento alla figura, si ottiene:

$$d(I; k, B_0) \sim (k I / B_0 - h^2)^{1/2}$$

L’approssimazione è tanto migliore quanto più grande risulta d , ovvero quanto più grande è I e piccola la soglia fissata B_0 .

Il fattore k è stato determinato, anziché da considerazioni analitiche, da simulazioni eseguite con CMagnetico nelle ipotesi suddette; il valore di corrente I utilizzato nell’effettivo calcolo delle fasce di attenzione è la corrente media dichiarata dagli esercenti per l’anno 2002.

Le fasce di attenzione, rispondendo ad un principio di cautela, sono state valutate ad h=0, in corrispondenza, cioè, del baricentro della distribuzione dei conduttori, nella zona in cui il campo raggiunge la massima intensità; calcolate mediante la formula analitica suscritta, sono state verificate con lo stesso CMagnetico.

L’unico caso in cui tale principio di cautela viene abbandonato si ha per le zone sulle quali i campi prodotti da più linee, sebbene inferiore ciascuno agli 0.2μT, potrebbero sommarsi costruttivamente e causare un superamento di tale soglia; in questi casi, la relazione di fase arbitraria che sussiste in generale fra le linee non consente una stima dell’effettiva intensità del campo. Aree di questo tipo possono in ogni caso essere individuate sul supporto cartografico nell’ambito dell’ultima fase del progetto; qualora ve ne fossero di densamente edificate, si possono prevedere campagne di misura specifiche.

Il semplice modello analitico sopra descritto, adottato nell’ambito di questo Studio a partire dal luglio 2003, è sostanzialmente suffragato dalle indicazioni presenti nella *Bozza della Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6)*, in fase di elaborazione da parte dell’Ente di Normazione CEI e recentemente resa disponibile a questa Agenzia, in occasione di una discussione in sede APAT [14].

Tipo linea	X_min [m]	X_med [m]	X_max [m]	ΔH_med [m]	ΔH_max [m]	Descrizione	Linee di utilizzo diffuso	K [μT m ² /A]
(1)	7.4	-7.4	0	0	1.0	delta; tensione tipica: 380 kV (TERNA)	21356; 21347; 21321; 21361	2.69
(2)	5.25	-4.5	4.0	3.0	6.0	s.t.; tensione tipica: 220kV (TERNA)	22186; 22195; 28566	2.05
(3)	2.8 ÷ 3.85	-2.7 ÷ -3.85	2.6 ÷ 3.15	1.95÷ 2.45	3.9÷ 4.9	s.t; tensione tipica: 132kV (RFI; TERNA; ENEL DISTIB.; TERNA)	23731; 20000; 40000; 30000; 23421; 23704; 28424; 28428; 28746; ...	1.27
(4)	5.1	0.0	5.1	0.0	0.0	delta: tensione tipica: 132kV (ENEL DISTRIB)	28573; 28708	1.80
(5)	4.7	5.7	4.2	5.4	10.8	d.t.; tensione tipica: 380kV	21347; 21356	3.87
(6)	3.9	3.5	3.1	4.7	9.4	d.t.; tensione tipica: 132kV	28725; 28733	3.28

Tabella 2.1: tipologie di linea individuate: X_min, X_med, X_max indicano gli sbracci dei conduttori minimo, medio e massimo rispetto all’asse della linea; ΔH_med, ΔH_max indicano le differenze di altezza fra il conduttore minimo e gli altri due; k è il fattore di forma stimato per ciascuna tipologia.

2.5 Bibliografia

1. D.P.C.M. 8.7.2003, “*Fissazione die limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici a frequenza di rete (50Hz) generati dagli elettrodotti*”; art.5, comma 3; G.U. 28.08.2003
2. Norma CEI 211-6, “*Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell’intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all’esposizione umana*” (2001)
3. L.Anglesio et al., *Guida tecnica per la misura dei campi elettromagnetici compresi nell’intervallo di frequenza 100 khz – 3 ghz in riferimento all’esposizione della popolazione*, ANPA RTI CTN_AGF 1/2000 (2000)
http://www.sinanet.anpa.it/documentazione/CTNAGF/RTI CTN_AGF 1_2000.pdf
4. G.Licitra et al., *Rassegna dei modelli per il rumore, i campi elettromagnetici e la radioattività ambientale*, ANPA, RTI CTN_AGF 1/2001 (2001)
http://www.sinanet.anpa.it/documentazione/CTNAGF/RTI CTN_AGF 1_2001.pdf
5. E.Gambato, M.Rosa, “*Studio dei modelli per il calcolo dei campi elettromagnetici generati da elettrodotti*”, ARPAV – Osservatorio Regionale agenti Fisici (documento tecnico, 05/11/00)

6. Delib.G.R. n.1526, 11.4.2000, L.R. 3.6.1993 n. 27 e successive modificazioni ed integrazioni: “Prevenzione dai campi elettromagnetici generati da elettrodotti. Direttive”
7. R.Turri, M.Albano, *Calcolo previsionale dei campi elettromagnetici generati da elettrodotti*, AEI – Atti della Giornata di Studio “Elettrodotti e Territorio”; Padova, 21.11.2000 (2001)
8. B.M.Stievano, M.Erna, *Rassegna degli effetti derivanti dall’esposizione a campi elettromagnetici*, ANPA, RTI CTN_AGF 2_2000, 2000
[http://www.sinanet.anpa.it/documentazione/CTNAGF/RTI CTN_AGF 2_2000.pdf](http://www.sinanet.anpa.it/documentazione/CTNAGF/RTI%20CTN_AGF_2_2000.pdf)
9. per una descrizione del sistema di misura dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici EMDEX II: www.enertech.net
10. J. R. Taylor, *Introduzione all’analisi degli errori*, Zanichelli, 1986
11. G.D’Amore et al., *Standard per la realizzazione delle banche dati delle sorgenti di inquinamento elettromagnetico (alte e basse frequenze)*, ANPA, RTI CTN_AGF 4_2001, 2001
[http://www.sinanet.anpa.it/documentazione/CTNAGF/RTI CTN_AGF 4_2001.pdf](http://www.sinanet.anpa.it/documentazione/CTNAGF/RTI%20CTN_AGF_4_2001.pdf)
12. G.Anderle et al., “IMPATTO AMBIENTALE DA CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI A FREQUENZA DI RETE” (documento tecnico nell’ambito del Progetto di ricerca “*Impatto ambientale da Campi Elettrici e Magnetici alla Frequenza di Rete*”, Provincia di Trento e Istituto Trentino di Cultura
<http://www.provincia.tn.it/appa/tecnico/rumore/elf/TestoELF.pdf>
13. 754-1985 IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic 1985
14. CEI, *Bozza della Guida per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti secondo le disposizioni del DPCM 8 luglio 2003 (Art. 6)*, giugno 2004

3. Valutazione preventiva dell’entità della popolazione esposta a prefissati valori di induzione magnetica e conseguente individuazione dei siti sensibili

3.1 Introduzione

In questa fase del progetto viene sviluppato un indicatore[1] che si ritiene appropriato a descrivere sinteticamente lo *stato* dell’esposizione della popolazione ai campi magnetici a frequenza industriale, causato dalla presenza di linee elettriche AT/AAT nel territorio provinciale.

Tale strumento consente di identificare i Comuni o gli elettrodotti che presentano la maggior criticità; tuttavia, essendo stimato per lo più con una metodologia *bottom-up*[2] – dal singolo dato al dato aggregato, come verrà illustrato nel capitolo 3.2 – esso permette di individuare in modo ancor più puntuale gli edifici nei pressi dei quali è opportuno che vengano svolti degli accertamenti, anche al fine di verificare il rispetto dei limiti imposti dalla normativa attualmente vigente.

Nel capitolo 3.2, in particolare, verranno delineate le considerazioni che hanno portato alla costruzione dell’indicatore, i limiti di significatività che se ne riconoscono, gli ulteriori sviluppi possibili nella sua definizione.

Nel capitolo 3.3 verranno descritte le scelte adottate nelle comunicazioni con le Amministrazioni comunali, ai fini della raccolta dei dati.

Nel capitolo 3.4 si illustrerà la struttura finale del database che costituisce il prodotto principale di questa parte del progetto; verranno inoltre presentate alcune statistiche, ricavate dai dati contenuti.

Nel capitolo 3.5 verranno individuati i punti di maggior criticità.

I grafici e gli esempi di estratti cartografici sono raggruppati in una serie di tavole.

3.2 Valutazione dell’impatto delle linee AT/AAT sulla popolazione, in termini di esposizione al campo di induzione magnetica: costruzione di un opportuno indicatore

Come già parzialmente delineato capitolo 2 di questo studio, si è scelto di costruire un *indicatore di stato* secondo i passi seguenti:

1. raggruppamento degli elettrodotti in un numero limitato di tipologie costruttive (essenzialmente, in base alla disposizione dei conduttori ed alle dimensioni delle mensole che li sostengono);
2. definizione, per ciascuna tipologia costruttiva individuata, di un’opportuna dipendenza funzionale

$$d = f(I, h; k; B_0)$$

essendo

- d = distanza dall’asse della linea alla quale si stima che il valore efficace dell’induzione magnetica raggiunga i $0.2\mu\text{T}$;
- I = valore di corrente circolante per la quale viene calcolata d;
- h = altezza, rispetto al baricentro della distribuzione dei conduttori, rispetto alla quale viene calcolata d;
- k = parametro dipendente dalla tipologia costruttiva della linea;
- $B_0 = 0.2\mu\text{T}$;

Da considerazioni sviluppate a partire dalla legge di Biot – Savart, si stima in particolare essere:

$$d(I, h; k, B_0) \sim (k I / B_0 - h^2)^{1/2}$$

Per mezzo di simulazioni realizzate con il software CMagnetico, si è confermata tale relazione e si è stimato il valore di k appropriato per ciascuna configurazione di linea;

3. per tutte le linee AT/AAT insistenti sul territorio provinciale, le *fasce di attenzione* sono state calcolate per mezzo della formula precedente, all’altezza $h=0$ e per una corrente circolante I pari alla corrente media in ciascuna linea nell’anno 2002;
4. dalla Carta Tecnica Regionale Numerica sono stati desunti gli edifici interessati, anche parzialmente, dalle fasce di attenzione;

5. sono state raccolte le informazioni relative alla destinazione d’uso di tali edifici, sul numero delle persone ivi residenti, sul numero di lavoratori impiegati, sul numero di minori presenti.

I dati raccolti, edificio per edificio, possono quindi essere *riaggregati* su scala comunale o, in genere, areale, oppure secondo altri criteri (per elettrodotto; per tipologia di rete – di trasmissione o di distribuzione –; per gestore o proprietario della linea). Alcuni esempi di tale procedura vengono proposti nel paragrafo 3.4.

Se ne ottiene un indicatore dell’esposizione della popolazione al quale è possibile riferirsi come al **numero di individui residenti e di lavoratori impiegati presso edifici potenzialmente interessati da prefissati valori dell’induzione magnetica.**

Possono essere svolte alcune considerazioni riguardo le scelte effettuate e sulla significatività di tale indicatore:

1. il raggruppamento degli elettrodotti in un piccolo numero di tipologie ed il calcolo delle fasce di attenzione per mezzo di una formula analitica rispecchia un approccio di tipo *top – down*; pur comportando una inevitabile perdita di precisione nei singoli casi, consente un calcolo rapido e standardizzato. Le fasce di attenzione così valutate potranno essere altrettanto rapidamente ricalcolate facendo riferimento a diversi valori di corrente circolante (valori medi in periodi diversi; portata nominale delle linee; valori mediani, anziché medi, delle correnti) o diversi valori soglia del campo di induzione magnetica, in successive fasi di questo studio o per emergenti diverse esigenze;
2. l’assunzione del valore di soglia di 0.2 μT , inteso come media del valore efficace dell’induzione magnetica durante un anno di esercizio, risponde a diversi criteri:

- a. innanzi tutto, esso viene adottato come soglia di attenzione in numerosi studi epidemiologici[3];
- b. i valori di attenzione (10 μT) e gli obiettivi di qualità (3 μT), imposti dalla normativa nazionale attualmente vigente[4], vengono intesi come *valori mediani nell’arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio dell’elettrodotto.*

In assenza di ulteriori precisazioni da parte del Ministero dell’Ambiente e di APAT sulle metodologie di stima di tali valori, si è scelto di adottare una soglia ampiamente cautelativa (0.2 μT) e di riferirla ad un valore medio annuo di corrente. Grazie a tale cautela, i dati raccolti consentiranno comunque in seguito di ricalcolare l’indicatore sulla base dei limiti e delle *fasce di rispetto* introdotti dalla normativa.

Il riferimento al carico medio annuo effettivamente circolante sulle linee, piuttosto che a parametri costruttivi come la portata in corrente, risponde all’esigenza di “fotografare” l’esistente; si ritiene che le stesse valutazioni, riferite però alla portata ed agli obiettivi di qualità introdotti dalla normativa, possano essere utilmente utilizzate in sede di Valutazione di Impatto Ambientale di nuovi elettrodotti o nell’ambito della pianificazione urbanistica dei comuni;

- c. il valore di riferimento di 0.2 μT viene, nella maggior parte dei casi, raggiunto ad una distanza dall’asse della linea tale che il campo dipende debolmente dall’altezza in cui viene calcolato rispetto ai conduttori. Ciò migliora l’accuratezza dell’indicatore scelto ai fini della stima dell’esposizione della popolazione, rispetto alle limitazioni delineate al punto 3.;
3. l’indicatore scelto presenta diverse limitazioni ai fini della stima dell’effettiva esposizione degli individui ad un determinato livello di campo:
 - a. non vengono considerate le pertinenze esterne agli edifici, quali giardini, cortili, piazzali, a causa della difficoltà di individuazione ed attribuzione sulla CTRN;
 - b. non vengono analizzate le destinazioni d’uso e la frequentazione dei locali all’interno degli edifici che, specie in complessi particolarmente estesi in pianta o in altezza, possono comportare scenari significativamente diversi fra loro;
 - c. nel caso di linee caratterizzate da bassi carichi di corrente, il campo di induzione magnetica dipende criticamente dalla disposizione dei conduttori nello spazio e dal punto in cui viene calcolato. L’approccio basato sul calcolo di *fasce di attenzione* introduce in tal caso pesanti approssimazioni, comunque nella direzione di restituire indicazioni maggiormente cautelative.

3.3 Rapporto con le amministrazioni comunali. Qualità dei dati raccolti.

Le informazioni inerenti la destinazione d’uso, il numero di individui residenti e di lavoratori impiegati in ciascun edificio interessato dall’indagine sono state richieste alle Amministrazioni comunali competenti.

L’indagine comportava, tipicamente, la collaborazione degli Uffici Tecnici comunali, per la ricostruzione degli indirizzi degli edifici interessati a partire dalla cartografia inviata, e degli Uffici Anagrafe, dati gli indirizzi, per il censimento della popolazione residente e dei lavoratori impiegati.

Durante il mese di novembre e nella prima decade di dicembre 2003, i 92 comuni attraversati da elettrodotti AT/AAT sono stati contattati telefonicamente, al fine di illustrare le caratteristiche e le finalità di questo Studio e di concordare le modalità di invio delle richieste di dati.

Le richieste sono state quindi inviate via posta elettronica, allegando estratti cartografici di ciascun comune, durante il medesimo periodo. Gli estratti cartografici sono stati ricavati sovrapponendo i poligoni rappresentanti gli edifici di interesse, ricavati dalla Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN, 1:5000), alla Carta Regionale numerica (CRN, 1:25000); le mappe ottenute sono state inviate sotto forma di file JPEG.

Ciascun invio è stato seguito da un contatto telefonico, in cui ci si sincerava dell’avvenuta ricezione della richiesta e della documentazione cartografica allegata e, ove i comuni non avessero risposto entro l’11 dicembre, da un sollecito.

Il 4 marzo u.s. si è provveduto a rinnovare la richiesta di informazioni, questa volta inviandola in forma cartacea ai 25 comuni che non avevano ancora preso in considerazione la pratica.

A partire quindi dal 19 marzo e fino al 24 aprile si è provveduto nuovamente a contattare le Amministrazioni comunali, sollecitando le risposte ed offrendo la collaborazione del personale di ARPA nell’effettuazione dei sopralluoghi sul territorio, nella rilevazione dei numeri civici degli edifici interessati, nell’estrazione dei dati dai registri dell’anagrafe o dagli elenchi relativi alle sezioni elettorali.

Il 7 ed 8 aprile u.s. è stato effettuato, da parte di personale di questa Agenzia, un sopralluogo sul territorio del Comune di Udine, per la rilevazione degli indirizzi degli edifici interessati, comunicati il giorno medesimo all’Amministrazione comunale; in data 26 aprile u.s., presso gli Uffici del medesimo Comune, lo stesso personale dell’Agenzia ha provveduto al censimento della popolazione residente.

Nel Comune di Udine, come in alcuni altri, non è stata effettuata la raccolta dei dati inerente i lavoratori impiegati negli edifici di interesse, a causa dell’assenza di documentazione a riguardo.

Come nel caso delle richieste di dati inviate ai proprietari ed ai gestori delle linee elettriche, l’indagine è andata incontro a lentezze, dovute essenzialmente alla natura volontaria della collaborazione.

Il censimento della popolazione potenzialmente esposta si è, comunque, completato nella totalità dei comuni, prima della conclusione di questo Studio.

3.4 Il database realizzato.

Il database realizzato comprende 1329 poligoni, desunti dalla CTRN, corrispondenti ad edifici o parti di essi. Secondo la classificazione adottata sulla CTRN, essi si suddividono nelle seguenti categorie:

<i>TIPOLOGIA</i>	<i>NUMERO DI COSTRUZIONI</i>
Edificio Civile	872
Edificio Agroforestale	80
Stabilimento Industriale	165
Tettoia	206
<i>(Non presente)</i>	<i>7)</i>
TOTALE	1330

Tipologie di manufatti diverse da quelle sopra elencate sono state ritenute non significative ai fini di questa indagine o, diversamente, non hanno presentato elementi interessati dalle fasce di attenzione; 7 edifici, assenti sulla CTRN, sono stati aggiunti su indicazione dei comuni interessati.

Le costruzioni associate a poligoni di superficie inferiore a 42 mq, che sono complessivamente 204, si sono rivelate in tutti i casi trattarsi di portici, baracche, tettoie, depositi o autorimesse, essendo per lo più accessorie ad altri edifici; quelle, fra di esse, riconosciute come indipendenti o isolate, non sono state identificate come luoghi di permanenza superiore alle 4 ore giornaliere.

Complessivamente, le strutture accessorie ad abitazioni civili o a sedi di attività lavorative sono state identificate nel numero di 274.

Per 133 costruzioni non sono stati reperiti dati sulla destinazione d’uso, né sul numero di residenti o lavoratori presenti.

Inoltre, come già segnalato nel capitolo 3.2, in alcuni comuni, o in singoli casi, non si sono raccolte informazioni inerenti il numero di addetti delle imprese, o sul numero di minori presenti, non emergendo questi dati dalle fonti utilizzate per questo censimento.

Dalle informazioni raccolte presso i comuni, si sono definite le seguenti categorie di edifici, che, nell’ambito della tematica oggetto di questo Studio, rappresentano una specificazione aggiornata ed ulteriore rispetto a quella desumibile dalla CTRN:

<i>TIPOLOGIA</i>	<i>NUMERO DI COSTRUZIONI</i>
- Civile Abitazione	487
- Struttura accessoria o, comunque, aggregata a costruzioni adiacenti ai fini del censimento	274
- Deposito, autorimessa o capanno, censiti singolarmente	176
- Sede di attività produttiva o commerciale	112
- Struttura frequentata saltuariamente	14
- Edificio disabitato, inutilizzato o demolito; rudere; edificio inesistente	58
- Destinazione residenziale, associata ad attività produttiva o commerciale	33
- Stazione ENEL o TERNA	24
- Edificio prossimo ad un elettrodotto in demolizione	13
- Edificio in ristrutturazione	4
- Scuola	2
- Dati non reperiti	133
TOTALE	1330

La struttura del database è illustrata nella tabella seguente:

<i>Campo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Caratteri (Decimali)</i>	<i>Descrizione</i>
Layer	String	16	Layer del file Autocad della CTRN cui appartiene l’edificio
Piedemax	Number	16 (5)	Quota di piede minima dell’edificio (desunta dalla CTRN) [m]
Grondamax	Number	16 (5)	Quota di gronda massima dell’edificio (desunta dalla CTRN) [m]
CTRN	String	16	CTRN in cui è georeferenziato l’edificio
Comune	String	256	Comune di appartenenza dell’edificio
X coord	Number	16 (5)	Coordinata Gauss-Boaga Est del centroide dell’edificio
Y coord	Number	16 (5)	Coordinata Gauss-Boaga Nord del centroide dell’edificio
Area	Number	16 (5)	Area dell’edificio [m ²]
Id	String	10	Identificativo univoco dell’edificio nel database
Type	String	256	Classificazione dell’edificio in base al layer di appartenenza nella CTRN
Line	String	16	Elettrodotto nei pressi del quale sorge l’edificio
Gestore	String	16	Gestore dell’elettrodotto nei pressi del quale sorge l’edificio

Propr	String	16	Proprietario dell’elettrodotto nei pressi del quale sorge l’edificio
Residenti	Number	3 (0)	Numero di residenti nell’edificio (compresi i minori)
Lavoratori	Number	3 (0)	Numero di lavoratori impiegati nell’edificio
Bambini	Number	3(0)	Numero di minori residenti nell’edificio
Totale	Number	3(0)	Somma dei tre campi precedenti
Tipo	String	256	Tipologia dell’edificio ai fini di questo Studio (civile abitazione, sede di attività lavorativa, baracca o deposito, ecc.)
Note_com	String	256	Note comunicate dal Comune
Note_ed	String	256	Spazio per ulteriori annotazioni
Fascia	String	8	Ampiezza della fascia di attenzione che coinvolge l’edificio
Percent	Number	3 (2)	Frazione della superficie occupata dall’edificio ed interessata dalla fascia di attenzione
Min_dist	Number	3 (0)	Distanza minima dell’edificio dall’asse della linea, in piante [m]
Dt	String	256	Indicazione della presenza di due linee
Tensione	String	16	Tensione di esercizio della linea interessata

3.5 Individuazione delle zone particolarmente critiche

La struttura del database, la georeferenziazione degli edifici e delle strutture degli elettrodotti, la riferibilità alla CTRN consentono potenzialmente di svolgere varie valutazioni, ai fini dell’individuazione delle zone critiche. Tuttavia, la possibilità di stimare i livelli di campo cui si espone la popolazione, arrivando all’individuazione delle situazioni a rischio di superamento dei valori di attenzione, viene inficiata dalle limitazioni ed approssimazioni delineate al paragrafo 3.2, al punto 3.

In tal senso, senza rinunciare a svolgere alcune considerazioni e ricavare delle indicazioni dal database, si rinvia l’individuazione delle maggiori criticità al capitolo IV di questo documento, relativo alla fase di svolgimento delle misure. Si osserva, piuttosto, che le situazioni a rischio di superamento dei valori di attenzione si presentano in corrispondenza di singoli edifici, eventualmente anche isolati o atipici rispetto al contesto; l’analisi che si va, ora, a svolgere tende piuttosto a far emergere le zone a vocazione residenziale, industriale, commerciale poste nei pressi delle linee, richiamando su di esse l’attenzione delle Amministrazioni comunali, da esercitare in particolare nella redazione dei piani regolatori e nella concessione di autorizzazioni edilizie.

Una prima analisi della situazione può essere condotta considerando il numero di residenti, lavoratori e minori censiti in ciascun comune, come riportato nella Tavola 3.1. Si ritiene utile raffinare la valutazione considerando, per ciascun edificio, la frazione fra la superficie interessata effettivamente dalla fascia di attenzione e la sua area totale, pesando il numero di individui associati all’edificio per tale fattore; ciò consente di evitare di sopravvalutare situazioni in cui, per esempio, un esteso capannone di una fabbrica con molte decine di addetti sia lambito da una fascia di attenzione per una frazione trascurabile della propria superficie (Tav. 3.2).

Il dato ritenuto più significativo - e per il quale, come detto, si è potuta garantire la migliore efficienza nella raccolta - è quello relativo alla popolazione residente, piuttosto che ai lavoratori impiegati o al numero di minori; esso viene perciò visualizzato anche in veste cartografica (Tav. 3.3).

Segue, in Tav. 3.4, la superficie interessata dalle fasce di attenzione negli edifici di tipo:

Civile abitazione

Civile abitazione, associata ad attività produttiva o commerciale

Scuola

con la sovrapposizione della stessa grandezza calcolata per gli edifici

Sede di attività produttiva o commerciale.

In Tav. 3.5, altri dati relativi alle superfici edificate.

Tali informazioni sono interamente desumibili a partire dai dati raccolti nella tabella *edifici.dbf*, ai soli fini della visualizzazione, i dati aggregati a livello comunale vengono riproposti nella tabella *comuni.dbf*.

<i>Campo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Caratteri (Decimali)</i>	<i>Descrizione</i>
Nome	String	256	Nome del Comune
Count	Number	4 (0)	Numero di edifici interessati dalle fasce di attenzione
Sum_area	Number	16 (5)	Superficie occupata complessivamente dagli edifici interessati dalle fasce di attenzione
Sum_residenti	Number	4 (0)	Individui residenti negli edifici interessati dalle fasce di attenzione
Sum_bambini	Number	4 (0)	Minori residenti negli edifici interessati dalle fasce di attenzione
Sum_lavoratori	Number	4 (0)	Lavoratori impiegati presso gli edifici interessati dalle fasce di attenzione
Sum_totale	Number	4 (0)	Somma dei campi <i>Sum_residenti</i> e <i>Sum_lavoratori</i>
Sum_area_perc	Number	16 (5)	Superficie edificata interessata dalle fasce di attenzione
Sum_res_perc	Number	6(2)	Somma del numero di individui residenti in ciascun edificio interessato dalle fasce di attenzione, pesato per la frazione di superficie dell’edificio interessato effettivamente dalla fascia
Sum_min_perc	Number	6(2)	Somma del numero di minori residenti in ciascun edificio interessato dalle fasce di attenzione, pesato per la frazione di superficie dell’edificio interessato effettivamente dalla fascia
Sum_lav_perc	Number	6(2)	Somma del numero di lavoratori impiegati in ciascun edificio interessato dalle fasce di attenzione, pesato per la frazione di superficie dell’edificio interessato effettivamente dalla fascia
Sum_tot_perc	Number	6(2)	Somma dei campi <i>Sum_residenti_perc</i> e <i>Sum_lavoratori_perc</i>

Complessivamente, l’analisi della frazione di superficie edificata e di popolazione residente nelle fasce di attenzione induce ad identificare nei seguenti comuni quelli che richiederanno maggiore attenzione nelle future campagne di monitoraggio:

Buia, Campoformido, Carlino, Cervignano del Friuli, Codroipo, Forgaria, Gemona, Latisana, Pagnacco, Pasian di Prato, Povoletto, Pradamano, Remanzacco, San Giorgio di Nogaro, Udine, Venzone.

Gli stessi dati possono essere aggregati *per elettrodotto*, anzichè *per Comune* (Tav. 3.6; 3.7). Richiamando i codici con cui vengono contrassegnate le linee AT/AAT nel database, si osserva:

- **Codice Linea 10000; 10001; 20001:**

le linee a 66kV di proprietà RFI, gestite dalla stessa società, appaiono avere un impatto rilevante. In particolare, sono responsabili dell’elevato valore degli indicatori riscontrato nel comune di Udine e contribuiscono significativamente ai valori stimati nei comuni di Venzone, Gemona, Buia.

Lo stesso può dirsi per la linea a 132kV contrassegnata con il codice 20001, con particolare rilievo nel comune di S.Giorgio di Nogaro.

A mitigare queste considerazioni, è necessario considerare il valore estremamente cautelativo degli indicatori scelti, già delineato nel capitolo II di questo documento, quando siano applicati ad elettrodotti interessati da bassi carichi di corrente, quali sono queste linee.

Si è tuttavia riscontrato che esse attraversano aree intensamente urbanizzate e, più in particolare, quartieri con chiara vocazione residenziale.

Oltre alla campagna di misure, si ritiene dunque opportuno verificare le previsioni sui carichi di corrente previsti in futuro per queste linee, essendo quelli attuali altamente inferiori alla loro portata, ponendo attenzione all’evoluzione del ruolo di RFI nel contesto delle reti di trasmissione e distribuzione dell’energia elettrica.

- **Codice Linea 21***; 22***:**

le linee a 380kV ed a 220kV, di proprietà TERNA e gestite dal GRTN, appaiono avere un impatto rilevante. Nel caso di queste linee, attraversate da carichi intensi, gli indicatori utilizzati sono più precisi nel delineare la condizione di esposizione effettiva della popolazione.

Sebbene questi elettrodotti siano realizzati per lo più in zone a vocazione non residenziale (con eccezioni in particolare a Venzone e Gemona), le fasce di rispetto previste dalle norme edilizie hanno consentito la realizzazione di costruzioni in aree in cui l’induzione magnetica non è trascurabile, ai fini di questo Studio. E’ manifesto come ciò accada in minor misura per gli elettrodotti a 132kV.

In particolare, i possibili superamenti degli attuali valori di attenzione sono attesi particolarmente in corrispondenza di queste linee, che richiederanno una particolare attenzione nella progettazione delle campagne di monitoraggio.

- **Codice Linea 23***; 28***:**

le linee a 132kV di proprietà TERNA ed ENEL Distribuzione, gestite dal GRTN le prime, da ENEL stessa le seconde, hanno impatto rilevante particolarmente nelle aree industriali, dove entrano frequentemente con derivazioni dirette a grossi impianti e dove si situano le stazioni di trasformazione.

In Tav. 3.8, a titolo di esempio, si riporta un estratto cartografico del tipo di quelli inviati alle Amministrazioni comunali durante l’effettuazione del censimento, ricavabile dal database sviluppato in questo Studio.

3.6 Bibliografia

1. ARPA FVG, *Rapporto sullo Stato dell’Ambiente – Anno 2001*
2. ANPA, *Linee Guida agli Inventari Locali di Emissioni in Atmosfera*, RTI CTN_ACE 3/2001
3. ANPA, *Rassegna degli Effetti Derivanti dall’Esposizione a Campi Elettromagnetici*, RTI CTN_AGF 2/2000
4. D.P.C.M. 8.7.2003, *“Fissazione die limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici a frequenza di rete (50Hz) generati dagli elettrodotti”*, G.U. 28.08.2003

5. Progetto per il proseguimento del presente Studio: approfondimenti metodologici e monitoraggio; strumenti al servizio delle Amministrazioni comunali

5.1 Punti di monitoraggio

Una possibile strategia di monitoraggio dei siti sensibili può essere basata, stanti alcune ipotesi, sulla proporzionalità fra la corrente circolante in un elettrodotto ed il valore efficace del campo di induzione magnetica prodotto nello spazio circostante, come già delineato nei precedenti capitoli di questo documento.

Per ciascun punto di misura i , dati il valore della misura del campo $B_{m,i}$ e il simultaneo valore della corrente circolante $I_{m,i}$, è dunque possibile individuare un opportuno coefficiente moltiplicativo

$$k_i = B_{m,i} / I_{m,i}$$

tale da consentire idealmente la stima del campo corrispondente a qualunque altro valore di corrente circolante.

Per esempio, dato il valore mediano nelle 24 ore $I_{50\%,i}$ delle correnti circolanti nell’elettrodotto durante un certo periodo nelle normali condizioni di esercizio, sarà possibile stimare il corrispondente valore mediano dell’induzione magnetica

$$B_{50\%,i} = k_i I_{50\%,i}$$

indicato nel DPCM 08.07.03 al fine della verifica del rispetto dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità.

Il coefficiente k_i sarà caratteristico, oltre che della posizione del punto di misura per il quale viene calcolato, anche dalla configurazione geometrica della linea; questa specificazione appare necessaria, se si considera che la dilatazione e la contrazione dei conduttori, causata dalle escursioni termiche, può tipicamente comportare spostamenti verticali del punto di *franco minimo* di una campata, anche non trascurabili, nel corso dell’anno.

La temperatura - e dunque la tesatura - del conduttore dipenderà in generale ed in modo diversamente rilevante dal carico di corrente, dalla temperatura ambientale, dall’irraggiamento solare, dall’eventuale formazione di ghiaccio sulla superficie, dal tipo di conduttore (materiali impiegati, sezione).

Oltre alle possibili difficoltà nella predicibilità degli effetti termici appena descritti, i principali fattori di indeterminazione nella stima di k_i saranno le incertezze strumentali e la sincronizzazione nelle misure $B_{m,i}$ ed $I_{m,i}$.

Nella massiccia campagna di misura svolta durante la fase IV di questo Studio si è privilegiata la copertura spaziale del territorio e delle linee, al fine di individuare le situazioni maggiormente critiche; l’opportunità degli approfondimenti appena descritti, e la proposta operativa delineata nei paragrafi seguenti, emergono proprio dall’esperienza sviluppata durante tale campagna.

La stima dei coefficienti k_i a partire dalle misure già svolte presenta, dunque, alcune difficoltà:

- l’influenza degli effetti termici su ciascun k_i è attualmente imponderabile;
- non vi è la possibilità di verificare la correttezza della sincronizzazione fra le misure $B_{m,i}$ ed $I_{m,i}$;
- i Gestori non hanno ancora fornito in modo completo i valori $I_{m,i}$ di corrente istantanea circolante in ciascuna linea al momento della misura.

Si ritiene che l’approccio basato sui *punti di monitoraggio*, che rende possibile la stima dei valori di campo magnetico su intervalli temporali arbitrariamente lunghi, indipendentemente dal particolare momento e condizione di esercizio in cui vengono svolte le misure, sia conforme alla più corretta interpretazione della L.36/01 e del DPCM 08.07.03 e consenta di avere una descrizione esatta delle reali condizioni di esposizione della popolazione (si richiamano, in particolare, del DPCM 08.07.03, l’art.5, comma 3: *Per la verifica del rispetto delle disposizioni di cui agli articoli 3 e 4, oltre alle misurazioni e determinazioni di cui al commi 1 e 2, il sistema agenziale APAT-ARPA può avvalersi di metodologie di calcolo basate su dati tecnici e storici dell’elettrodotto*; e comma 4: *Per gli elettrodotti con tensione di esercizio non inferiore a 132 kV, gli esercenti devono fornire agli organi di controllo, secondo modalità fornite dagli stessi, con frequenza trimestrale, 12 valori per ciascun giorno, corrispondenti ai valori medi delle correnti registrati ogni 2 ore nelle normali condizioni di esercizio*).

Esso, inoltre, a fronte di un maggiore impegno iniziale nella comprensione dei fenomeni coinvolti, consente di abbattere il numero e l’estensione delle campagne di misura future e le richieste di dati ai Gestori, nonché di prevedere gli effetti, in termini di esposizione della popolazione, di eventuali variazioni nelle condizioni di carico elettrico tipiche di ciascuna linea.

5.2 Volumi di monitoraggio

Rispetto a quanto delineato riguardo i *punti di monitoraggio*, la possibilità di conoscere l’induzione magnetica in un *volume* dipende inoltre dalla conoscenza di tutti gli altri parametri geometrici della linea (coordinate tridimensionali dei punti di sospensione dei conduttori ai sostegni) nei pressi del volume di interesse, che consente l’applicazione di un modello di calcolo previsionale.

I risultati delle misure svolte durante la fase IV del progetto sono state confrontate con delle simulazioni, prodotte sulla base del catasto delle linee (si veda il capitolo II di questa relazione).

Ciò è stato possibile ove vi fosse la disponibilità sia dei valori di corrente istantanea al momento della misura, sia di tutti i dati costruttivi delle campate interessate; tali condizioni si sono verificate in corrispondenza di 24 punti di misura, fra i quali 3 interessati dalle linee a 132 kV, uno da una linea a 220 kV, 20 dalle linee a 380 kV.

Per questi ultimi vi è uno scarto quadratico medio del 20% fra valori misurati e valori simulati; per i restanti quattro punti lo scarto quadratico medio è del 60%.

I valori simulati sono sistematicamente maggiori di quelli misurati, tranne che in tre casi.

Nelle serie di dati, non è stata trovata alcuna correlazione che consentisse di individuare in modo inequivocabile le cause di incertezza: ad esempio, la discrepanza percentuale fra il valore stimato e quello misurato non appare dipendere dall’intensità del campo, né dalla corrente circolante.

Una correlazione – non quantificata – sembra non potersi escludere relativamente al posizionamento del punto di misura: le misure realizzate *lontano* dalla linea danno in generale valori più vicini a quelli della simulazione; da ciò, sembra potersi desumere che le discrepanze siano dovute ad incertezze nella conoscenza dei parametri geometrici caratterizzanti il problema, piuttosto che alla determinazione della corrente istantanea al momento della misura.

La differenza di *predicibilità* del campo nei pressi delle linee a 380kV rispetto alle altre può essere dovuta ad una migliore accuratezza dei dati tecnici forniti per tali linee, ad una maggiore stabilità dei valori di corrente, ad una diversa procedura di misura dei valori di corrente istantanea da parte del Gestore.

5.3 Strategia di monitoraggio

La strategia di monitoraggio che si intende qui delineare passa, dunque, per le seguenti fasi:

- a) studio dei succitati fattori di influenza sulle misure (riscaldamento dovuto al carico di corrente, temperatura ambientale, irraggiamento solare), nonché degli effetti legati all’età ed all’usura dei conduttori, nell’ambito della letteratura specifica;
- b) campagna di misure, condotta su un sottoinsieme degli oltre 200 punti di misura individuati nell’ambito di questo Studio, ai fini della verifica della predicibilità dei coefficienti k_i ;
- c) individuazione dei *punti di monitoraggio* ed avvio del monitoraggio trimestrale;
- d) verifica e validazione dei dati costruttivi geometrici di ciascuna linea nei pressi dei punti di monitoraggio e creazione, mediante l’uso del software di simulazione, di *volumi di monitoraggio*.

In particolare, si ritiene opportuno che in occasione delle misure vengano effettuati, per mezzo di un *telemetro laser*, dei rilievi relativi alla geometria della linea. Ciascuna misura dovrebbe essere svolta per un periodo di tempo di almeno 24 ore, al fine di verificare la sincronia dei rilievi di $B_{m,i}$ ed $I_{m,i}$ e di ottenere un *tracciato* della stima di k_i per diverse condizioni di carico, temperatura ambientale ed irraggiamento solare. Sarebbe altrettanto opportuno individuare una tecnica di misura della temperatura effettiva dei conduttori.

Si ritiene che le quattro fasi predette possano essere più efficacemente condotte con il coinvolgimento diretto ed attivo di Enti gestori e/o proprietari delle linee.

Le principali difficoltà riscontrate nello svolgimento della presente indagine fino allo stadio attuale possono infatti riassumersi nei seguenti *nodi*:

- rapidità nell’accesso alle informazioni;
in particolare, l’ottenimento dei valori istantanei di corrente all’atto delle misure richiede alcuni mesi. Ciò ha comportato, per esempio, che l’intera IV fase di questo Studio sia stata condotta senza la possibilità di confrontare i valori misurati con i risultati di simulazioni.
- qualità delle informazioni;
ad esempio, i tracciati e le caratteristiche geometriche costruttive degli elettrodotti sono stati desunti in molti casi da documentazione non aggiornata.

- accesso ad alcuni *know-how* specifici;

A tal riguardo, risulterebbe di grande utilità conoscere le tecniche di misura dei carichi di corrente delle linee (vengono dedotti dai valori di tensione, potenza attiva e reattiva? Con quale incertezza? Qual è la finestra temporale su cui vengono mediati i valori? Possono considerarsi valori istantanei?), la predicibilità della fase relativa fra le tensioni di linee indipendenti, la variabilità del parametro di tesatura.

Tali difficoltà possono essere superate – come si diceva – mediante il coinvolgimento e la responsabilizzazione di uno o più interlocutori, fra Enti gestori e proprietari delle linee, con il patrocinio della Provincia.

Si intende evidenziare come, dal punto di vista degli Enti proprietari e gestori delle linee, la partecipazione ad un progetto di questa natura comporti viceversa diversi altri vantaggi:

- rappresenta un indubbio impegno, ed un ascrivibile merito, nell’ambito della tutela dell’ambiente e della salute pubblica;
- consente di verificare la validità, dal punto di vista tecnico e scientifico, delle procedure di misura e verifica adottate dall’ARPA, istituendo un rapporto costruttivo – ma non ambiguo – fra *controllore* e *controllato*;
- consente di sviluppare, all’interno dello stesso Ente, conoscenze utili in fase di progettazione di nuove infrastrutture, con particolare attenzione alla fase della V.I.A.;
- consente parimenti di sviluppare, all’interno dello stesso Ente, conoscenze utili in fase di redazione dei piani di risanamento per le infrastrutture esistenti;
- l’impegno, in termini di *ore uomo*, nell’ambito del progetto può ritenersi relativamente limitato.

Un vantaggio indiretto può essere considerata la creazione di un linguaggio comune e di un sapere condiviso con il personale dell’ARPA, a beneficio della razionalità nelle comunicazioni inerenti questa materia.

Si osserva, infine, come la situazione esistente, emersa da questo Studio, non lasci presagire in provincia un grave impatto dei risanamenti richiesti dal DPCM 08.07.03 sulle linee esistenti, e come ciò possa consentire di proporre con serenità una collaborazione del tipo delineato.

Un punto su cui si ritiene, invece, sia necessario focalizzare l’attenzione è il problema del rispetto degli obiettivi di qualità ($3\mu\text{T}$) nella realizzazione dei nuovi insediamenti. Si ritiene sia anche interesse dei Gestori concorrere alla creazione di un meccanismo virtuoso e di strumenti che impediscano ai Comuni di originare pericolose distonie attraverso la concessione di autorizzazioni edilizie e nella realizzazione di piani regolatori, evitando future contraddizioni urbanistico-ambientali.

6. Addendum I: Integrazione con i dati di CORINE Land Cover

Il Centro Interregionale per la Cartografia e le Informazioni Territoriali mantiene in rete un sito dal quale è possibile ottenere, in formato ArcView .shp, la copertura del territorio regionale in termini delle categorie utilizzate nel progetto europeo *Corine Land Cover*.

L’ampia compatibilità nel formato dei dati ne ha suggerito l’utilizzo nell’ambito di questo progetto.

Tale operazione ha il solo scopo di verificare l’applicabilità e l’utilità dello strumento Corine Land Cover in studi di questo tipo: si ritiene, infatti, che l’approccio seguito (informazioni desunte dalla CTRN, dati raccolti presso le Amministrazioni comunali e sopralluoghi estensivi sul territorio) abbia garantito un tale livello di dettaglio nella conoscenza del problema in esame da escludere la necessità di ulteriori integrazioni da altre fonti.

Innanzitutto, si osserva che nessuna area classificata in Corine Land Cover come *Tessuto urbano continuo* (codice 111: *Spazi strutturati dagli edifici e dalla viabilità. Gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente occupano più dell’80% della superficie totale*) è interessata dagli elettrodotti AT/AAT.

Nelle aree di tipo *Tessuto urbano discontinuo* (codice 112), in cui gli edifici, le strade e le superfici coperte occupano il 50-80% della superficie, troviamo linee a 380kV per poche centinaia di metri, 4 km di linee a 220 kV (pari al 4% dello sviluppo totale della rete a tale tensione), 21 km di linee a 132 kV (3% del rispettivo totale), 11 km di linee a 66 kV (6% del totale).

I comuni interessati da più di 200m di linee a 220/380 kV in aree classificate come *Tessuto urbano discontinuo* sono: Buia, Cavazzo Carnico, Forgaria, Gemona, Pagnacco, Povoletto, Pozzuolo, San Giorgio di Nogaro; in aree classificate come *Industriali o commerciali* (cod.121): Buia, Carlino, Pavia di Udine, Pradamano, Remanzacco.

Per quanto riguarda le linee a 132 kV incontriamo, nel *Tessuto urbano discontinuo*, più di 3 km di linee a Latisana ed Udine, più di 1.5 km a S.Giorgio di Nogaro, Campofornido.

Le linee a 66kV interessano per più di 1.5 km il *Tessuto urbano discontinuo* nei comuni di Gemona, Artegna, Udine.

L’individuazione dei Comuni in cui gli elettrodotti insistono su aree urbanizzate, svolta a partire dai dati di Corine Land Cover, viene sostanzialmente confermata: si confronti, in tal senso, l’elenco di comuni appena redatto con quello presentato nel capitolo III di questa relazione.

E’ possibile, altresì, ricavare un’indicazione *paesaggistica*, relativa all’impatto degli elettrodotti, nel considerare la copertura del suolo delle aree interessate da ciascun tipo di linea.

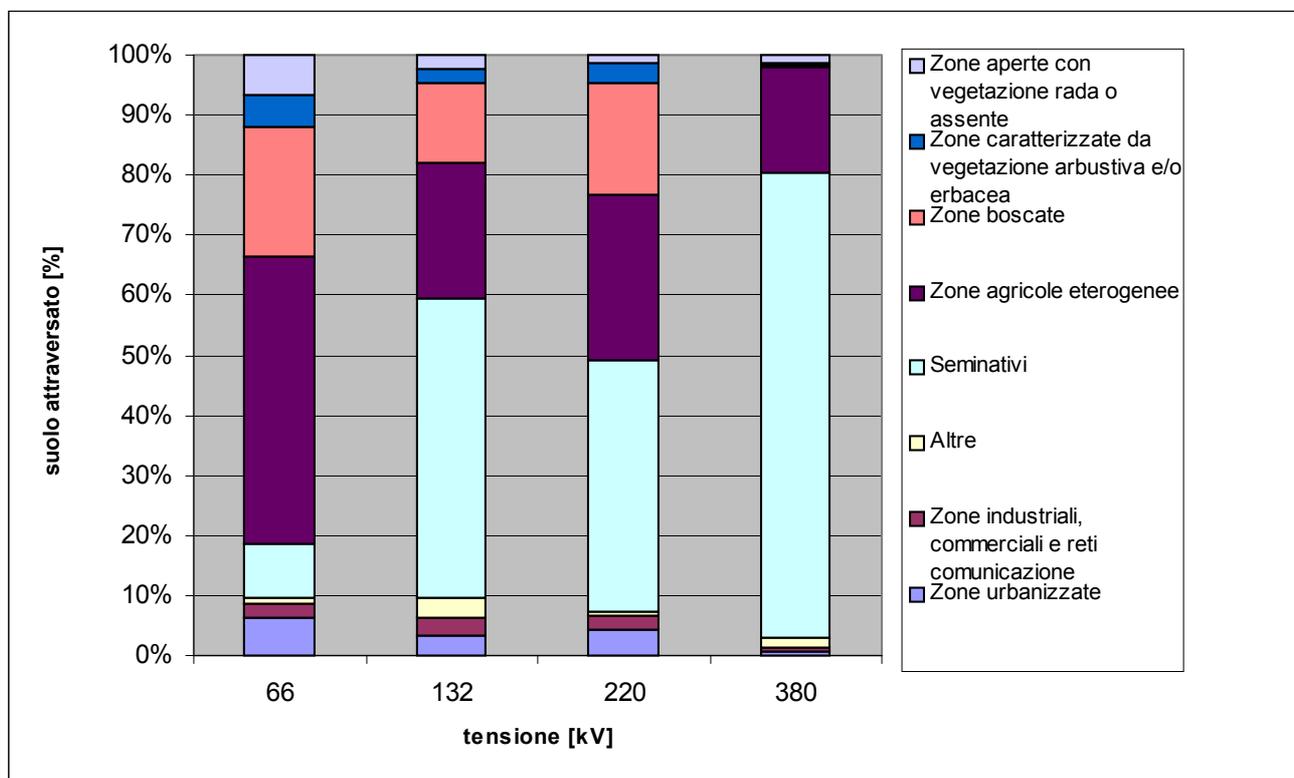


Figura 6.1: copertura del suolo secondo la classificazione CORINE Land Cover per le zone attraversate dagli elettrodotti.

7. Addendum II: Rassegna degli studi sugli effetti derivanti dall’esposizione a campi elettromagnetici a bassa frequenza

7.1 Introduzione

Le interazioni dei campi elettromagnetici a frequenza industriale con gli organismi biologici e gli effetti sanitari derivanti sono oggetto di studio sin dagli anni '60. I metodi di indagine sono schematicamente classificabili in:

- studi epidemiologici;
- studi di laboratorio in vivo;
- studi di laboratorio in vitro.

Tali studi sono a loro volta classificabili a seconda che vengano condotti su esseri umani o animali, su campioni residenziali o di addetti ai lavori, in base alle fasce d’età, su campioni reali o tramite simulazioni al computer.

7.2 L’interazione tra campi elettromagnetici e sistemi biologici

Le onde elettromagnetiche possono produrre effetti biologici che possono arrecare un danno alla salute. Un effetto biologico si verifica quando l’esposizione alle onde elettromagnetiche provoca qualche variazione fisiologica notevole o rilevabile in un sistema biologico. Un danno alla salute avviene quando l’effetto biologico è al di fuori dell’intervallo in cui l’organismo può normalmente compensarlo, e ciò porta a qualche condizione di detrimento della salute.

L’interazione tra sistemi biologici e campi elettromagnetici può essere diretta (se è il campo esterno a provocare direttamente l’effetto biologico) o indiretta (quando l’interazione tra campo e corpo si verifica tramite un terzo elemento, generalmente un oggetto conduttore posto ad un potenziale elettrico diverso da quello del sistema biologico con cui viene a contatto).

7.2.1 Meccanismi di accoppiamento diretto

Il meccanismo di interazione tra campi elettromagnetici e corpo dell’individuo dipende dalla frequenza del campo. Le grandezze dosimetriche utilizzate nell’intervallo di frequenza in cui ricadono le radiazioni ELF sono la densità di corrente e la corrente elettrica.

Alle basse frequenze il campo elettrico e quello magnetico interagiscono con il corpo umano in modo indipendente l’uno dall’altro. L’esposizione a campi elettrici e magnetici a bassa frequenza comporta un assorbimento trascurabile di energia elettromagnetica e, conseguentemente un aumento non apprezzabile della temperatura corporea.

Il campo elettrico induce la formazione di correnti elettriche interne, la polarizzazione di cariche legate (formazione di dipoli elettrici) e la riorientazione di dipoli già esistenti nei tessuti.

L’importanza di questi diversi tipi di effetti dipende dalle proprietà elettriche del corpo, ad esempio la conducibilità elettrica, da cui dipende il flusso di corrente, e la permittività magnetica, che influisce sull’ampiezza dei fenomeni di polarizzazione. Tali grandezze variano a seconda del tipo di tessuto biologico e inoltre dipendono dalla frequenza del campo applicato.

L’interazione tra corpo umano e campo magnetico variabile nel tempo a bassa frequenza provoca la formazione di campi elettrici indotti e di correnti circolari, le cui intensità sono proporzionali alle dimensioni del corpo investito, alla conducibilità elettrica dei tessuti e al tasso di variazione temporale dell’intensità del flusso magnetico ($d\Phi_B/dt$). Il percorso e l’intensità delle correnti indotte dipendono dalla conducibilità elettrica del tipo di tessuto all’interno del corpo.

La grandezza dosimetrica che descrive l’interazione alle basse frequenze è la densità di correnti indotte, il campo elettrico indotto all’interno del corpo e le correnti indotte sono legati fra loro dalla legge di Ohm:

$$J = \sigma E_{int}$$

dove σ è la conducibilità del mezzo, E_{int} è il campo elettrico interno e J è la densità di corrente interna.

7.2.2 Meccanismi di accoppiamento indiretto

Vi sono due tipi di meccanismi di interazione indiretta:

- le correnti di contatto causate appunto dal contatto tra il corpo umano e un oggetto caratterizzato da un potenziale elettrico differente;

- interazione tra campo elettromagnetico e dispositivi medici indossati o impiantati.

I campi elettromagnetici possono generare una distribuzione di cariche superficiali su un oggetto conduttore; se un uomo si trova nelle immediate vicinanze o viene a contatto diretto con tale oggetto può avvenire una scarica elettrica. L’intensità e la distribuzione spaziale di tali correnti dipendono dalla frequenza del campo e dalle dimensioni dell’oggetto, della persona e dell’area di contatto.

7.2.3 Limite critico e limite cronico

Quando si analizzano gli effetti di un agente inquinante sull’organismo, i due valori da tenere in considerazione sono il limite critico, che causa danni nel breve periodo di tempo, e quello cronico, i cui effetti si fanno sentire dopo un’esposizione prolungata.

Nel caso di esposizione a campi ELF questi due concetti vanno visti in seno alla diversa concezione di dosimetria, in quanto non esiste accumulo nell’organismo. Se allora si può definire un limite critico a 100 μT , per il quale i danni sono conseguenti alle correnti indotte nell’organismo, il limite cronico fissato dall’Organizzazione Mondiale della Sanità a 0.2 μT fa riferimento agli esperimenti in laboratorio (che analizzano le interazioni a livello cellulare) e soprattutto agli studi epidemiologici, gli unici nei quali vengono analizzati dati per periodi di tempo sufficientemente lunghi.

7.3 Studi epidemiologici

Gli studi epidemiologici vengono condotti per investigare l’associazione tra un effetto sulla salute di una popolazione e l’esposizione ad un potenziale agente nocivo. Uno studio epidemiologico disegnato ed eseguito in modo appropriato consiste di diverse fasi, che comprendono l’identificazione della popolazione oggetto dello studio, la definizione dell’esposizione da esaminare, la scelta del tipo di studio da condurre (ad esempio uno studio di coorte o uno studio caso-controllo), e la determinazione del periodo durante il quale l’esposizione è rilevante per l’insorgenza della malattia in esame. Tutti questi fattori influenzano in modo sostanziale la qualità dello studio e, conseguentemente, l’interpretazione che si deve attribuire ai risultati dello stesso.

Gli studi epidemiologici di tipo caso-controllo sono i più appropriati per studiare l’insorgenza di malattie rare, come la leucemia, all’interno di una popolazione che presenta un vasto ventaglio di caratteristiche e di condizioni espositive, come ad esempio le popolazioni a livello nazionale. Gli studi di coorte, invece, sono indicati nelle indagini condotte all’interno di campioni con caratteristiche espositive più specifiche (ad esempio i lavoratori impiegati in particolari attività o industrie) o su patologie caratterizzate da alti tassi di incidenza.

Nelle ricerche cliniche o di laboratorio, eseguite con gli appropriati controlli, gli oggetti dello studio vengono sottoposti a trattamenti o a condizioni espositive noti e controllati.

Nelle indagini epidemiologiche, invece, non è possibile attribuire l’esposizione in modo casuale a ciascun soggetto all’interno del campione. Questo implica che i ricercatori devono disegnare lo studio in modo che le persone che sviluppano la malattia (casi) rispecchino in tutti gli aspetti, tranne che per l’esposizione, gli individui che non presentano la stessa patologia (controlli); in tal modo, si tenta di limitare gli effetti di eventuali distorsioni (bias).

Una distorsione dovuta ad un’inappropriata selezione dei casi e dei controlli viene introdotta quando l’esposizione è legata a delle caratteristiche che rendono più, o meno, probabile la selezione degli uni rispetto agli altri, o, una volta selezionati, la loro partecipazione. È inoltre possibile introdurre dei bias da selezione dei casi, ad esempio, in uno studio di mortalità in cui il tasso di sopravvivenza differisca tra gli esposti ed i non esposti, e, contemporaneamente, l’esposizione risulti legata allo status socioeconomico. Tale differenza può, infatti, essere dovuta alla diversa distribuzione della mortalità nei vari gruppi socioeconomici legata alla possibilità di aver avuto le appropriate cure mediche. Inoltre, per patologie facilmente curabili o che concedono lunghi periodi di sopravvivenza, i malati adeguatamente curati possono decedere per altri motivi e quindi non venire inclusi nelle liste dei casi.

Negli studi caso-controllo è quindi fondamentale avere a disposizione degli strumenti che consentano di associare ad ogni caso uno o più controlli caratterizzati da aspetti del tutto simili (età, status socioeconomico, regione di residenza, attività lavorativa ecc.) tranne che per l’esposizione.

Nelle nazioni nordiche e in quelle europee in genere, vengono abitualmente utilizzati come base per la selezione dei controlli i registri nazionali sulla popolazione, che forniscono molte indicazioni sulle caratteristiche socioeconomiche, sulla salute e sull’attività lavorativa degli individui selezionati. Se la partecipazione allo studio è alta è molto improbabile che si verifichino bias da selezione, anche se la partecipazione dei controlli può essere influenzata dal fatto che questi ultimi siano, o meno, esposti all’agente in esame. Nelle nazioni, come ad esempio gli Stati Uniti, dove tali registri non esistono è necessario adottare altri metodi per identificare, contattare e reclutare i controlli. Spesso la selezione viene effettuata tramite l’estrazione casuale dei numeri di telefono (random digit dialing) che però presenta l’inconveniente di introdurre distorsioni, dato che le persone appartenenti agli stati socioeconomici più bassi possono non avere il telefono. Ciò può determinare bias negli studi sulle leucemie infantili. L’impossibilità di assegnare le diverse condizioni espositive in modo casuale può introdurre possibili effetti di confondimento. Il confondimento si

verifica quando l’esposizione in esame è associata ad un altro fattore che influenza quantitativamente il rischio di contrarre la malattia in oggetto. I fattori di confondimento possono produrre distorsioni in eccesso o in difetto, a seconda dei legami esistenti tra esposizione, malattia, confondente. Si noti, i confondenti possono essere corretti, o almeno controllati, tramite metodi statistici. Nel caso delle leucemie infantili o della leucemia linfatica cronica, tuttavia, la conoscenza fattori di confondimento non è sufficiente a garantirne l’identificazione ed il controllo all’interno degli studi epidemiologici.

Un’altra limitazione degli studi epidemiologici, sempre dovuta all’impossibilità di assegnare e controllare l’esposizione, è rappresentata dalla errata classificazione espositiva, vale a dire da un’errata determinazione dei livelli di esposizione. Tale errore può distorcere notevolmente le misure di associazione riportate da uno studio. Per esempio, negli studi epidemiologici condotti sulle esposizioni nei luoghi di lavoro (studi occupazionali), la valutazione dell’esposizione viene spesso basata indirettamente sul tipo di lavoro eseguito dalle persone. Tuttavia il nome della mansione attribuito ad un tipo di lavorazione può essere errato, oppure una stessa mansione può comportare diversi gradi di esposizione per individui distinti. Le informazioni sulle condizioni espositive possono essere prospettive (prima dell’insorgenza della malattia) o retrospettive (dopo l’insorgenza della malattia). In quest’ultimo caso, soprattutto quando le informazioni vengono richieste direttamente al lavoratore tramite un questionario, il ricordo dell’esposizione può essere influenzato dal fatto che il paziente è affetto dalla malattia e che sia a conoscenza dei possibili legami tra la patologia e l’agente a cui è stato esposto; questo tipo di distorsioni causa una disparità di valutazione dell’esposizione tra il gruppo delle persone esposte e il gruppo dei non esposti.

Gli studi epidemiologici hanno utilizzato vari metodi per stimare l’esposizione ai campi elettromagnetici ELF, al fine di indagare possibili correlazioni tra questi ultimi e l’insorgenza di neoplasie. L’esposizione residenziale è stata valutata sostanzialmente in cinque modi diversi: le configurazioni elettriche (wire codes), basate essenzialmente sulla distanza tra l’abitazione e i dispositivi di trasmissione e distribuzione dell’energia elettrica (linee elettrica ad alta, media, bassa tensione, trasformatori, ecc.); le stime del campo magnetico, effettuate mediante calcoli teorici del campo emesso da alcune tipologie di linee elettriche utilizzando i dati storici del carico delle stesse; misure puntuali (spot) di campo magnetico, che forniscono un valore singolo ed istantaneo del campo magnetico in uno o più punti all’interno della casa; misure medie di campo magnetico, che sono sostanzialmente delle misure spot di pochi secondi ripetute per almeno 24 ore e mediate su tutta la durata del campionamento; infine, misure dosimetriche mediate, durante le quali il soggetto indossa un misuratore che campiona e registra per 48 ore l’andamento del campo magnetico, successivamente mediato nel tempo.

Dall’esame della validità dei diversi metodi di valutazione dell’esposizione si è concluso che ciascuno di essi presenta delle limitazioni. I wire codes e le stime di campo magnetico presentano il vantaggio di offrire un quadro più stabile nel tempo e quindi di fornire delle indicazioni probabilmente più corrette dell’esposizione durante il periodo di insorgenza dei tumori. Tali metodi, tuttavia, hanno lo svantaggio, rispetto a quelli basati sulle misure, di non considerare affatto il campo magnetico prodotto dagli elettrodomestici e dai dispositivi elettrici di comune utilizzo all’interno delle abitazioni. Il contributo degli apparecchi elettrici, infatti, presenta dei livelli di intensità di campo magnetico molto simili a quelli emessi dalle linee di elettriche e, quindi, non dovrebbe essere trascurato a priori. L’esame della correlazione tra wire codes e misure dirette di campo magnetico ha portato a concludere che l’accordo tra i due metodi è variabile.

7.3.1 Tumori infantili

Vi è una notevole controversia sulla possibilità di un legame tra l’esposizione a campi magnetici ELF e rischio tumorale. A riguardo sono stati pubblicati molti studi da quando, nel 1979, Leeper e Wertheimer riportarono un’associazione tra mortalità per tumori infantili e vicinanza delle abitazioni alle linee di distribuzione dell’energia elettrica; tali case vennero classificate come abitazioni ad “alta configurazione di corrente”. Emerse l’ipotesi di un aumento nel rischio di tumori infantili dovuto alla presenza di sorgenti di campo magnetico esterne.

Ad oggi, sono stati pubblicati diversi studi su tumori infantili ed esposizione ai campi magnetici a frequenza di rete generati dalle linee elettriche di distribuzione. I metodi di valutazione dell’esposizione in queste ricerche vanno dalle misure a breve termine alla stima della distanza relativa tra la linea e l’abitazione, e, nella maggior parte degli studi, alla configurazione della linea elettrica (wire codes); in alcuni studi si è anche tenuto conto del carico storico di corrente.

La coerenza dei risultati sulle associazioni tra leucemia e vicinanza delle abitazioni alle linee elettriche portò la U.S. National Academy of Sciences Committee a concludere che i bambini residenti in prossimità delle linee elettriche fossero soggetti ad un maggior rischio di contrarre leucemie. Poiché gli studi singoli si basavano su piccoli campioni statistici, gli intervalli di confidenza che ne risultavano erano estremamente grandi. Tuttavia, considerando questi studi assieme, i risultati erano coerenti con un rischio relativo di 1.5.

ICNIRP pone particolare attenzione allo studio americano di Linet et al. nel 1997; si tratta di un caso-controllo di vaste dimensioni (638 casi e 620 controlli) nel quale sono state effettuate sia misure mediate sulle 24 ore nella camera da letto e sia misure brevi di 30 secondi in tutte le altre stanze dell’abitazione in cui il bambino aveva vissuto per più del 70% nei 5 anni precedenti la diagnosi, o il tempo corrispondente per i relativi controlli. Alle 416 coppie caso-controllo

che non avevano cambiato casa negli anni precedenti la diagnosi, sono state assegnate le relative “configurazioni di corrente” (wire-codes) delle abitazioni. Mentre non ci sono indicazioni di associazione tra la categoria dei wire-codes e la leucemia, i risultati delle misure suggeriscono una correlazione con un rischio relativo di 1,2-1,5 per $B > 0,2 \mu T$ e di 1,7 per $B > 0,3 \mu T$.

Secondo ICNIRP, lo studio di Linet et al. costituisce il maggior contributo alla ricerca nel settore per le sue dimensioni, il numero di soggetti nelle categorie ad elevata esposizione, la tempestività delle misure dopo la data della diagnosi (generalmente entro i 24 mesi), gli altri strumenti utilizzati per la stima dell'esposizione e la qualità delle analisi, comprendenti molti confondenti.

Basandosi sulle indicazioni fornite principalmente dagli ultimi studi, condotti eseguendo misurazioni del campo magnetico indoor, Lagorio e Comba ritengono che le indagini epidemiologiche suggeriscano un'associazione tra l'esposizione residenziale ai campi magnetici a 50 Hz e la leucemia infantile. "Il nesso di causalità non è tuttavia dimostrato, sia a causa del disegno degli studi e del controllo di potenziali fattori di confondimento, sia per il carattere contrastante dei dati ottenuti mediante differenti procedure di valutazione dell'esposizione (talvolta anche all'interno dello stesso studio), sia infine a causa della mancanza di un chiaro meccanismo d'azione per l'eventuale cancerogenicità dei campi magnetici di frequenza industriale".

7.3.2 Tumori negli adulti: studi residenziali

Diversi recenti studi hanno esaminato il rischio di leucemie (sia di tutte le leucemie prese assieme che di tipi specifici) in relazione all'esposizione residenziale. Le indagini basate sulle valutazioni numeriche dei campi magnetici hanno fornito esiti sia positivi che negativi dipendentemente dal tipo di leucemia in oggetto e dalla definizione delle categorie espositive.

7.3.2 Tumori negli adulti: studi occupazionali

Le indagini epidemiologiche sulle malattie associate all'esposizione professionale ai campi ELF sono precedenti a quelle relative all'esposizione residenziale.

Tutti questi studi presentano delle limitazioni che vanno dal disegno dell'indagine epidemiologica alla determinazione dei criteri di valutazione dell'esposizione; analizzati assieme evidenziano un'associazione tra esposizione professionale ai campi magnetici e leucemia linfatica cronica in seguito all'esposizione ad un campo magnetico al di sopra dei $0.2 \mu T$.

7.4 Studi in vivo

Negli studi in vivo, condotti sull'uomo (volontari) o su animali, viene esaminato l'effetto dell'agente nocivo sull'intero organismo biologico.

Gli studi compiuti su volontari hanno il vantaggio di osservare gli effetti dei campi elettromagnetici sulla specie animale "giusta"; tuttavia, è chiaro che, per motivi etici, l'intensità dell'esposizione deve sempre essere mantenuta a livelli bassi, e non può mai superare delle determinate soglie. Per questo motivo, molti argomenti della ricerca biologica vengono analizzati più appropriatamente con i modelli animali che non con gli esseri umani, in quanto l'esposizione all'agente ambientale può essere invasiva, e non limitata a bassi dosaggi, e può essere studiata in condizioni rigorosamente controllate. L'uso di modelli animali nello studio degli effetti dei campi elettromagnetici è limitato da due problemi fondamentali: l'estrapolazione dei risultati conseguiti a specie diverse e l'estrapolazione delle condizioni espositive di laboratorio a quelle ambientali.

Rispetto alle caratteristiche di un'esposizione ambientale legata ai campi elettromagnetici, gli studi sugli animali sono stati condotti a livelli di intensità generalmente molto più elevati e con un maggiore grado di uniformità, sia in frequenza che in intensità di campo. Queste condizioni sperimentali sono state scelte per massimizzare la possibilità di rilevare gli eventuali effetti di una determinata situazione espositiva.

7.4.1 Studi clinici su volontari

Gli studi clinici sull'esposizione umana ai campi ELF sono stati sostanzialmente condotti attraverso tre principali filoni di ricerca che comprendono un vasto numero di indagini sui lavoratori impiegati nelle compagnie per l'elettricità seguite in Unione Sovietica a partire dagli anni 1960, la ricerca di laboratorio condotta in Germania negli anni 70 e, infine, il programma di ricerca clinica sull'uomo iniziato nel 1982 al Midwest Research Institute negli Stati Uniti.

Campi magnetici sufficientemente intensi sono in grado di stimolare direttamente i tessuti muscolari ed i nervi periferici; tali campi, infatti, somministrati mediante brevi impulsi, vengono già utilizzati per scopi clinici per verificare la buona funzionalità dei percorsi nervosi. Campi magnetici variabili nel tempo che inducono correnti interne maggiori di $1 A/m^2$ possono eccitare i neuroni e sono in grado di ingenerare effetti biologici irreversibili, quali la fibrillazione cardiaca. L'eccitabilità dei tessuti dipende molto dalla durata dell'esposizione al campo magnetico.

Lo studio delle variazioni del battito cardiaco conseguente all'esposizione ai campi ELF ha seguito due filoni di ricerca: le variazioni del numero di battiti per minuto (ritmo cardiaco) e le modificazioni dei segnali elettrochimici

inviati al cuore (attività cardiaca). Per quanto riguarda il primo filone, gli studi clinici condotti in laboratorio hanno osservato una riduzione del battito in almeno una delle categorie di esposti. In particolare, si sono osservate modeste variazioni nelle funzioni cardiache dei volontari contemporaneamente esposti a campi elettrici e magnetici, di intensità rispettivamente 9 kV/m e 20 μ T. Il battito cardiaco a riposo è risultato essere leggermente ridotto di 3-5 battiti al minuto, nel periodo immediatamente successivo all’esposizione.

7.4.2 Esperimenti sugli animali: studi sul cancro

Le indagini epidemiologiche hanno suggerito una possibile associazione tra esposizione a campi magnetici e tumore alla mammella nell’uomo e nella donna; dagli studi eseguiti sui ratti è emersa l’ipotesi che l’incremento dell’incidenza di tumori alla mammella osservato sia da addebitare ad un effetto di soppressione della produzione di melatonina pineale ed al conseguente aumento dei livelli dell’ormone steroide.

Dopo una prima ricerca positiva che segnalava la possibile azione dei campi magnetici ELF come promotori tumorali nei confronti del cancro alla mammella, è stata condotta una serie di studi per indagare il possibile ruolo dei campi ELF come iniziatori e promotori tumorali nei roditori. In queste indagini, che utilizzavano come cavie femmine di ratto di tipo Sprague-Dawley, il tumore veniva iniziato per via intragastrica mediante la somministrazione di un agente cancerogeno chimico, il DMBA; a questo seguiva l’esposizione continua e giornaliera, per tredici settimane, a campi magnetici a 50 Hz. Il primo studio di questa serie, i cui risultati vennero poi analizzati istologicamente nello studio, mostrò che campi magnetici di intensità dell’ordine delle centinaia di μ T agivano come promotori sulla crescita e lo sviluppo del tumore alla mammella, ma non alteravano il tasso di incidenza. Lo stesso laboratorio ripeté l’esperimento utilizzando diverse intensità di campo magnetico allo scopo di evidenziare una relazione dose-risposta; il risultato fu un eccesso, statisticamente non significativo, di tumori totali nel gruppo degli animali esposti.

7.4.3 Esperimenti sugli animali: studi su effetti non cancerogeni

A dispetto del grande numero di studi condotti allo scopo di individuare gli effetti biologici dei campi elettrici e magnetici ELF, pochi studi sistematici hanno definito le soglie del campo al di sopra delle quali si hanno *perturbazioni significative delle funzioni biologiche*. È stato ben accertato che le correnti elettriche indotte possono stimolare direttamente i nervi e la muscolatura non appena vengono superati i valori di soglia. Ma anche le correnti che non sono in grado di eccitare direttamente i tessuti possono tuttavia influenzare l’attività elettrica e l’eccitabilità neurale. È noto che le funzioni del sistema nervoso centrale sono sensibili ai campi elettrici endogeni generati dalle cellule nervose adiacenti, caratterizzati da livelli di intensità inferiori a quelli necessari per la stimolazione diretta.

Correnti e campi elettrici indotti di intensità superiori a quelle dei segnali bioelettrici endogeni, normalmente presenti nei tessuti, sono la causa di una quantità di effetti fisiologici, la cui gravità aumenta al crescere della densità di corrente elettrica indotta. Effetti sui tessuti e modificazioni delle funzioni cognitive del cervello sono state riportate per densità di corrente comprese tra 10-100 mA/m². Per frequenze nell’intervallo 10 Hz e 1 kHz, le soglie della stimolazione neurale e neuromuscolare vengono superate quando la densità di corrente supera valori compresi tra 100 e diverse migliaia di mA/m².

Quando la densità di corrente supera 1 mA/m² possono aver luogo effetti gravi o addirittura fatali, quali extrasistole, fibrillazione ventricolare, tetano muscolare e blocco respiratorio. La gravità delle conseguenze e la probabilità che si verifichino danni irreversibili ai tessuti aumentano se l’esposizione a densità di correnti indotte superiori a 10-100 mA/m² è cronica. ICNIRP conclude quindi che è appropriato limitare l’esposizione umana a campi che inducono correnti interne maggiori a 10 mA/m² nella testa, nel tronco e nel collo, nell’intervallo di frequenza 10 Hz e 1 kHz.

In generale, i modelli sperimentali adottati nello studio di possibili effetti non cancerogeni dell’esposizione ELF si sono ispirati alle metodologie e agli obiettivi caratteristici delle indagini relative ad altri agenti fisici e chimici, quali droghe, radiazioni ionizzanti.

Una grande varietà di animali, comprendente primati non umani, piccioni e roditori, sono stati esposti a campi elettrici e magnetici di elevata intensità allo scopo di verificare eventuali *modificazioni comportamentali e fisiologiche a carico del sistema nervoso*. La capacità degli animali di percepire i campi elettrici è un fenomeno ormai ben conosciuto, e le soglie di sensibilità per gli animali sembrano simili.

Alcuni studi condotti sui babbuini e sui roditori allo scopo di verificare se i campi elettrici e magnetici hanno un’influenza su alcune reazioni neurocomportamentali, quali la fuga, l’avversione, l’apprendimento e la capacità di agire, hanno riportato esiti positivi, anche se non vi è alcuna evidenza che i campi em provochino gli stessi effetti ai tipici livelli di intensità ambientale.

7.5 Studi in vitro: l’interazione biofisica con i campi ELF

Storicamente, la sperimentazione su sostanze potenzialmente tossiche si è basata sull’impiego di sistemi cellulari in vitro strettamente controllati; per identificare gli effetti potenzialmente cancerogeni o tossici di un agente, le cellule vengono generalmente esposte a dosaggi anche molto superiori a quelli che caratterizzano l’esposizione ambientale all’agente in questione.

Successivamente vengono misurati una serie di parametri per rilevare le alterazioni avvenute nei processi cellulari, quali la differenziazione, la proliferazione, l’espressione dei geni e la trasduzione dei segnali.

Vi è un gran numero di componenti, processi e sistemi cellulari che possono essere influenzati dai campi ELF. Dato che non si conosce nulla sul potenziale meccanismo di interazione biologica con i campi ELF, è necessario considerare accuratamente gli effetti osservati associandoli all’intervallo di intensità di dosaggio applicata, in quanto la loro estrapolazione a livelli di esposizione inferiore potrebbe risultare inappropriata. Questo perché potrebbero esistere differenti meccanismi di interazione in funzione dell’intervallo di intensità di campo applicata.

7.5.1 Interazione a livello di membrana cellulare

Un campo magnetico oscillante può determinare una variazione nel flusso attraverso la membrana cellulare di ioni (soprattutto Ca^{2+}). Infatti il passaggio di proteine ed elettroliti attraverso tale membrana è regolato tramite dei canali di membrana (le c.d. “pompe cellulari”) attraverso i quali vengono attivamente assunte od espulse sostanze chimiche. Queste entrano nel campo statico di tali “pompe”, e a causa della forza di Lorenz entrano o escono seguendo un’orbita circolare.

7.5.2 Alterazione della secrezione di melatonina

Uno dei pochi effetti accertati riguardante l’esposizione di animali a campi ELF riguarda l’attenuazione della produzione notturna di melatonina da parte dell’epifisi, e il ritardo di tale secrezione di circa due ore. Tale diminuzione causa disturbi nel ritmo sonno-veglia e nelle funzioni neuro-vegetative, oltre ad un aumento dell’incidenza di neoplasie, una parziale soppressione del sistema immunitario e del sistema riproduttivo, alterazioni nella fisiologia delle funzioni endocrine, perturbazioni psicologiche che possono condurre a disturbi depressivi.

La soppressione del normale ciclo circadiano della melatonina è stata additata come uno dei possibili meccanismi attraverso il quale l’esposizione ai campi ELF incrementa il rischio di tumore alla mammella. Gli studi in vitro sulle cellule umane di tumore alla mammella hanno mostrato che trattando le colture con livelli fisiologici di melatonina si otteneva un decremento della proliferazione cellulare e che tale effetto poteva essere annullato dall’esposizione a campi magnetici ELF sinusoidali di $1.2 \mu T$.

7.5.3 Alterazione del battito cardiaco

La variazione della frequenza cardiaca deriva dall’azione dei riflessi neuronali e cardiovascolari, compresi quelli coinvolti nel controllo della temperatura, della pressione sanguigna e del respiro. È stato dimostrato che una diminuzione di tale valore assume un significato clinico nella predizione della morbosità cardiovascolare e della mortalità.

7.5.4 Effetti antiproliferativi

Diverse ricerche sul tamoxifen (una terapia antitumorale) hanno riportato la soppressione di tali effetti dopo l’esposizione a un campo di $1,2 \mu T$. Sono inoltre stati osservati effetti comparabili utilizzando una seconda linea cellulare di tumore umano alla mammella e una linea cellulare di glioma umano.

Numerose indagini si sono interessate dei potenziali effetti dei campi ELF sui processi caratteristici della differenziazione cellulare, quali, ad esempio, le caratteristiche della superficie cellulare, la morfologia, la dimensione e l’orientazione della cellula. Molti di questi studi hanno osservato che il campo elettrico influenza il comportamento cellulare.

Indagini sulle alterazioni della produzione delle matrix protein hanno trovato una correlazione positiva tra la dose di campo elettrico applicato e lo stato di differenziazione della cellula. Le ricerche sulle alterazioni a carico della superficie cellulare hanno utilizzato una grande varietà di tipologie di cellule. In alcuni di questi lavori gli effetti osservati sono stati ricondotti all’esposizione ai campi elettrici.

Un’ulteriore indagine ha inoltre che l’esposizione a un campo elettrico a 60 Hz agisce sopprimendo la formazione di cellule di tipo osteoclastico nelle colture di midollo.

7.6 Bibliografia

1. Juris Galvanovskis, John Sandblom, Bjorn Bergqvist, Sheila Galt, Yngve Hamnerius, “The influence of 50-Hz magnetic fields on cytoplasmic Ca^{2+} oscillations in human leukemia Tcells”, *The Science of the Total Environment* 180 (1996) 19-33

2. J. Gartzke, K. Lange, U. Brandt, J. Bergmann, “A new concept for risk assessment of the hazards of non-genotoxic chemicals-electronmicroscopic studies of the cell surface. Evidence for the action of lipophilic chemicals on the Ca²⁺ signaling system”, *The Science of the Total Environment* 199 (1997) 213-226
3. Committee on the Possible Effects of Electromagnetic Fields on Biologic Systems – Board on Radiation Effects Research – Commission on Life Sciences – National Research Council, “Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields”, National Academy Press, Washington, D. C., 1997
4. Arnt Inge Vistnes, Gro B. Ramberg, Lars Rune Bjørnevik, Tore Tynes, Tor Haldorsen, “Exposure of Children to Residential Magnetic Fields in Norway: Is Proximity to Power Lines an Adequate Predictor of Exposure?”, *Bioelectromagnetics* 18:47–57 (1997)
5. Leeka I. Kheifets, Robert Kavet, Stanley S. Sussman, “Wire Codes, Magnetic Fields, and Childhood Cancer”, *Bioelectromagnetics* 18:99–110 (1997)
6. Jun Zhang, Indira Nair, M. Granger Morgan, “Effects Function Simulation of Residential Appliance Field Exposures”, *Bioelectromagnetics* 18:116–124 (1997)
7. Stefan Engström, “What Is the Time Scale of Magnetic Field Interaction in Biological Systems?”, *Bioelectromagnetics* 18:244–249 (1997)
8. P.K.C. Wang, “ELF Magnetic Field Exposure System with Feedback-Controlled Disturbance Rejection”, *Bioelectromagnetics* 18:299–306 (1997)
9. Domenico Lanera, John E. Zapotosky, James A. Colby, “Study of Magnetic Fields From Power-Frequency Current on Water Lines”, *Bioelectromagnetics* 18:307–316 (1997)
10. J. Alan Beech, “Bioelectric Potential Gradients May Initiate Cell Cycling: ELF and Zeta Potential Gradients May Mimic This Effect”, *Bioelectromagnetics* 18:341–348 (1997)
11. Jun Zhang, Indira Nair, Jack Sahl, “Effects Function Analysis of ELF Magnetic Field Exposure in the Electric Utility Work Environment”, *Bioelectromagnetics* 18:365–375 (1997)
12. T.A. Litovitz, M. Penafiel, D. Krause, D. Zhang, J.M. Mullins, “The Role of Temporal Sensing in Bioelectromagnetic Effects”, *Bioelectromagnetics* 18:388–395 (1997)
13. Ferdinando Bersani, Fiorenzo Marinelli, Andrea Ognibene, Alessandro Matteucci, Stefania Cecchi, Spartaco Santi, Stefano Squarzoni, Nadir Mario Maraldi, “Intramembrane Protein Distribution in Cell Cultures Is Affected by 50 Hz Pulsed Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 18:463–469 (1997)
14. Jørgen H. Skotte, Henrik I. Hjöllund, “Exposure of Welders and Other Metal Workers to ELF Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 18:470–477 (1997)
15. Trevor W. Dawson, Kris Caputa, Maria A. Stuchly, “Influence of Human Model Resolution on Computed Currents Induced in Organs by 60-Hz Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 18:478–490 (1997)
16. L. Beale, N. E. Pearce, D. M. Conroy, M. A. Henning, K. A. Murrell, “Psychological Effects of Chronic Exposure to 50 Hz Magnetic Fields in Humans Living Near Extra-High-Voltage Transmission Lines”, *Bioelectromagnetics* 18:584–594 (1997)
17. Paolo Bevitori, “Inquinamento elettromagnetico – Campi elettrici e magnetici a frequenza industriale (50-60 Hz) generati da elettrodotti ed apparecchi elettrici - Aspetti tecnici, sanitari e normativi”, Maggioli Editore, Rimini 1998
18. M. Simko, R. Kriehuber, D. G. Weiss, R.A. Luben, “Effects of 50 Hz EMF Exposure on micronucleus Formation and Apoptosis in Transformed and Nontransformed Human Cell Lines”, *Bioelectromagnetics* 19:85–91 (1998)
19. Antonio Sastre, Mary R. Cook, Charles Graham, “Nocturnal Exposure to Intermittent 60 Hz Magnetic Fields Alters Human Cardiac Rhythm”, *Bioelectromagnetics* 19:98–106 (1998)
20. Paul J. Villeneuve, David A. Agnew, Paul N. Corey, Anthony B. Miller, “Alternate Indices of Electric and Magnetic Field Exposures Among Ontario Electrical Utility Workers”, *Bioelectromagnetics* 19:140–151 (1998)
21. K. Heermeier, M. Spanner, J. Träger, R. Gradinger, P. G. Strauss, W. Kraus, J. Schmidt, Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (EMF) on Collagen Type I mRNA Expression and Extracellular Matrix Synthesis of Human Osteoblastic Cells”, *Bioelectromagnetics* 19:222–231 (1998)
22. C. M. Furse, O. P. Gandhi, “Calculation of Electric Fields and Currents Induced in a Millimeter-Resolution Human Model at 60 Hz Using the FDTD Method”, *Bioelectromagnetics* 19:293–299 (1998)

23. Nikolaos Kazantzis, John Podd, Craig Whittington, “Acute Effects of 50 Hz, 100 mT Magnetic Field Exposure on Visual Duration Discrimination at Two Different Times of the Day”, *Bioelectromagnetics* 19:310–317 (1998)
24. W. T. Kaune, M. Feychting, A. Ahlbom, R. M. Ulrich, D. A. Savitz, “Temporal Characteristics of Transmission-Line Loadings in the Swedish Childhood Cancer Study”, *Bioelectromagnetics* 19:354–365 (1998)
25. L. DiCarlo, J. M. Farrell, T. A. Litovitz, “A Simple Experiment to Study Electromagnetic Field Effects: Protection Induced by Short-term Exposures to 60 Hz Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 19:498–500 (1998)
26. Organizzazione Mondiale della Sanità, “Promemoria n. 181 - Campi elettromagnetici e salute pubblica - Il progetto internazionale CEM”, maggio 1998
27. Organizzazione Mondiale della Sanità, “Promemoria n. 182 - Campi elettromagnetici e salute pubblica - Proprietà fisiche ed effetti sui sistemi biologici”, maggio 1998
28. Organizzazione Mondiale della Sanità, “Promemoria n. 184 - Campi elettromagnetici e salute pubblica - Percezione dei rischi dei campi elettromagnetici nel pubblico”, maggio 1998
29. M. H. Repacholi, “WHO’s International EMF Project”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 1-4 (1999)
30. Organizzazione Mondiale della Sanità, “Promemoria n. 205 - Campi elettromagnetici e salute pubblica – Campi a frequenza estremamente bassa (ELF)”, novembre 1998
31. J. H. Bernhardt, “ICNIRP initiatives”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 5-7 (1999)
32. J. Swanson, “Residential power-frequency and magnetic fields: sources and exposures”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 9-14 (1999)
33. P. Vecchia, “Sources of exposure to ELF fields at workplaces”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 15-19 (1999)
34. R. Kavet, “ELF magnetic fields, transients and TWA metrics”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 29-40 (1999)
35. J. M. Silva, “Personal exposure logging for ELF fields”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 41-45 (1999)
36. P. Chadwick, “Assessment of industrial exposure to magnetic fields”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 47-52 (1999)
37. D. Baris, M. Linet, A. Auvinen, W. T. Kaune, S. Wacholder, R. Kleinerman, E. Hatch, L. Robison, S. Niwa, C. Haines, R. E. Tarone, “Temporal and other exposure aspects of residential magnetic fields measurement in relation to acute lymphoblastic leukaemia in children: the National Cancer Institute/Children’s Cancer Group study”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 53-60 (1999)
38. L. Kheifets, “Occupational exposure assessment in epidemiological studies of EMF”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 61-69 (1999)
39. Albom, M. Feychting, “Magnetic field exposure estimates based on power lines near homes”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 79-82 (1999)
40. R. Matthes, “Rapporteur report: sources and exposure metrics for ELF epidemiology (part I)”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 83-86 (1999)
41. Floderus, “Combined occupational and residential exposures”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 93-97 (1999)
42. M. Yost, “Alternative magnetic field exposure metrics: occupational measurements in trolley workers”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 99-106 (1999)
43. M. L. McBride, “Rapporteur report: sources and exposure metrics for ELF epidemiology (part II)”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 107-112 (1999)
44. G. d’Amore, L. Anglesio, M. Tasso, A. Benedetto, S. Roletti, “Outdoor background ELF magnetic fields in an urban environment”, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 83, Nos 1-2, pp. 113-117 (1999)

45. Michael H. Repacholi, B. Greenebaum, “Interaction of Static and Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields With Living Systems: Health Effects and Research Needs”, *Bioelectromagnetics* 20:133–160 (1999)
46. Christopher C. Davis, Ian Barber, Mays L. Swicord, “Food and Drug Administration Low-Level Extremely-Low-Frequency Magnetic Field Exposure Facility”, *Bioelectromagnetics* 20:203–215 (1999)
47. Trevor W. Dawson, Kryz Caputa, Maria A. Stuchly, “Magnetic Induction at 60 Hz in the Human Heart: A Comparison Between the In Situ and Isolated Scenarios”, *Bioelectromagnetics* 20:233–243 (1999)
48. John Swanson, W.T. Kaune, “Comparison of Residential Power-Frequency Magnetic Fields Away From Appliances in Different Countries”, *Bioelectromagnetics* 20:244–254 (1999)
49. Juris Galvanovskis, John Sandblom, Björn Bergqvist, Sheila Galt, Yngve Hamnerius, “Cytoplasmic Ca²⁺ Oscillations in Human Leukemia T-Cells Are Reduced by 50 Hz Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 20:269–276 (1999)
50. Charles Graham, Mary R. Cook, “Human Sleep in 60 Hz Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 20:277–283 (1999)
51. Henry Lai, Monserrat Carino, “60 Hz Magnetic Fields and Central Cholinergic Activity: Effects of Exposure Intensity and Duration”, *Bioelectromagnetics* 20:284–289 (1999)
52. C.M. Li, H. Chiang, Y.D. Fu, B.J. Shao, J.R. Shi, G.D. Yao, “Effects of 50 Hz Magnetic Fields on Gap Junctional Intercellular Communication”, *Bioelectromagnetics* 20:290–294 (1999)
53. R. Kavet, R.M. Ulrich, W.T. Kaune, G.B. Johnson, T. Powers, “Determinants of Power-Frequency Magnetic Fields in Residences Located Away From Overhead Power Lines”, *Bioelectromagnetics* 20:306–318 (1999)
54. François Clinard, Chantal Milan, Mohamed Harb, Paule-Marie Carli, Claire Bonithon-Kopp, Jean-Paul Moutet, Jean Faivre, Patrick Hillon, “Residential Magnetic Field Measurements in France: Comparison of Indoor and Outdoor Measurements”, *Bioelectromagnetics* 20:319–326 (1999)
55. Patrick Levallois, Denis Gauvin, Suzanne Gingras, José St-Laurent, “Comparison Between Personal Exposure to 60 Hz Magnetic Fields and Stationary Home Measurements for People Living Near and Away From a 735 kV Power Line”, *Bioelectromagnetics* 20:331–337 (1999)
56. Joseph D. Bowman, Duncan C.Thomas, Liangzhong Jiang, Feng Jiang, John M. Peters, “Residential Magnetic Fields Predicted From Wiring Configurations: I.Exposure Model”, *Bioelectromagnetics* 20:399–413 (1999)
57. Duncan C.Thomas, Joseph D. Bowman, Liangzhong Jiang, Feng Jiang, John M. Peters, “Residential Magnetic Fields Predicted From Wiring Configurations: II. Relationships to Childhood Leukemia”, *Bioelectromagnetics* 20:414–422 (1999)
58. Stefan Engström, Robert Fitzsimmons, “Five Hypotheses to Examine the Nature of Magnetic Field Transduction in Biological Systems”, *Bioelectromagnetics* 20:423–430 (1999)
59. N.A.Cridland, R.G.E.Haylock, R.D.Saunders, “50 Hz Magnetic Field Exposure Alters Onset of S-Phase in Normal Human Fibroblasts”, *Bioelectromagnetics* 20:446–452 (1999)
60. Elinor R. Schoenfeld, Kevin Henderson, Erin O’Leary, Roger Grimson, William Kaune, M. Cristina Leske, “Magnetic Field Exposure Assessment: A Comparison of Various Methods”, *Bioelectromagnetics* 20:487–496 (1999)
61. KurtisW. Andrews, David A. Savitz, “Accuracy of Industry and Occupation on Death Certificates of Electric Utility Workers: Implications for Epidemiologic Studies of Magnetic Fields and Cancer”, *Bioelectromagnetics* 20:512–518 (1999)
62. M. Stievano, M. Erna, “Rassegna degli effetti derivanti dall’esposizione ai campi elettromagnetici”, ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente, RTI CTN_AGF 2/2000
63. Organizzazione Mondiale della Sanità, “Promemoria Marzo 2000 - Campi elettromagnetici e salute pubblica – Politiche cautelative”, marzo 2000
64. L. Anglesio, G. D’Amore, S. Maggiolo, L. Menini, S. Rebeschini, R. Sogni, S. Adda, C. Barbieri, A. Cogorno, B. Dalzocchio, W. Piromalli, F. Rigolon, F. Trotti, M. Valle, “Rassegna di indicatori e indici per il rumore, le radiazioni non ionizzanti e la radioattività ambientale”, ANPA - Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente, RTI CTN_AGF 4/2000

65. Andrei L. Kindzelskii, Howard R. Petty, “Extremely low frequency pulsed DC electric fields promote neutrophil extension, metabolic resonance and DNA damage when phase-matched with metabolic oscillators”, *Biochimica et Biophysica Acta* 1495 (2000) 90-111
66. Lisi, D. Pozzi, E. Pasquali, S. Rieti, M. Girasole, A. Cricenti, R. Generosi, A.L. Serafino, A. Congiu-Castellano, G. Ravagnan, L. Giuliani, and S. Grimaldi, “Three Dimensional (3D) Analysis of the Morphological Changes Induced by 50 Hz Magnetic Field Exposure on Human Lymphoblastoid Cells (Raji)”, *Bioelectromagnetics* 21:46-51 (2000)
67. Norman H. Hansen, Eugene Sobel, Zoreh Davanipour, Lynne M. Gillette, Juha Niiranen, Bary W. Wilson, “EMF Exposure Assessment in the Finnish Garment Industry: Evaluation of Proposed EMF Exposure Metrics”, *Bioelectromagnetics* 21:57-67 (2000)
68. Jukka Juutilainen, Sakari Lang, Tapio Rytömaa, “Possible Cocarcinogenic Effects of ELF Electromagnetic Fields May Require Repeated Long-term Interaction With Known Carcinogenic Factors”, *Bioelectromagnetics* 21:122-128 (2000)
69. B. Bianco, A. Chiabrera, S. Giordano, “DC-ELF Characterization of Random Mixtures of Piecewise Nonlinear Media”, *Bioelectromagnetics* 21:145-149 (2000)
70. M.A. Stuchly, O.P. Gandhi, “Inter-Laboratory Comparison of Numerical Dosimetry for Human Exposure to 60 Hz Electric and Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 21:167-174 (2000)
71. Frank S. Prato, M. Kavaliers, A.W. Thomas, “Extremely Low Frequency Magnetic Fields Can Either Increase or Decrease Analgesia in the Land Snail Depending on Field and Light Conditions”, *Bioelectromagnetics* 21:287-301 (2000)
72. Kristie L. Ebi, Leeka I. Kheifets, Robert L. Pearson, Howard Wachtel, “Description of a New Computer Wire Coding Method and Its Application to Evaluate Potential Control Selection Bias in the Savitz et al. Childhood Cancer Study”, *Bioelectromagnetics* 21:346- 353 (2000)
73. James E. Trosko, “Human Health Consequences of Environmentally-Modulated Gene Expression: Potential Roles of ELF-EMF Induced Epigenetic Versus Mutagenic Mechanisms of Disease”, *Bioelectromagnetics* 21:402-406 (2000)
74. Bruno Saia, Anna Volpin, “Elettrodotti: Rischi per la salute”, Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana, Giornata di Studio “Elettrodotti e territorio – Nuove tecnologie per ridurre l’inquinamento elettromagnetico”, Padova, 22 novembre 2000
75. Charles Graham, Antonio Sastre, Mary R. Cook, Robert Kavet, Mary M. Gerkovich, Donald W. Riffle, “Exposure to Strong ELF Magnetic Fields Does Not Alter Cardiac Autonomic Control Mechanisms”, *Bioelectromagnetics* 21:413-421 (2000)
76. John H. Graham, David Fletcher, James Tigue, Malcolm McDonald, “Growth and Developmental Stability of *Drosophila melanogaster* in Low Frequency Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 21:465-472 (2000)
77. Charles Graham, Antonio Sastre, Mary R. Cook, Robert Kavet, “Heart Rate Variability and Physiological Arousal in Men Exposed to 60 Hz Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 21:480-482 (2000)
78. Alfonsina Ramundo-Orlando, Umberto Morbiducci, Giuseppe Mossa, Guglielmo D’Inzeo, “Effect of Low Frequency, Low Amplitude Magnetic Fields on the Permeability of Cationic Liposomes Entrapping Carbonic Anhydrase - I. Evidence for charged lipid involvement”, *Bioelectromagnetics* 21:491-498 (2000)
79. Alfonsina Ramundo-Orlando, Francesca Mattia, Alessandro Palombo, Guglielmo D’Inzeo, “Effect of Low Frequency, Low Amplitude Magnetic Fields on the Permeability of Cationic Liposomes Entrapping Carbonic Anhydrase - II. No evidence for surface enzyme involvement”, *Bioelectromagnetics* 21:499-507 (2000)
80. R. Kavet, L. E. Zaffanella, J. P. Daigle, K. L. Ebi, “The Possible Role of Contact Current in Cancer Risk Associated With Residential Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 21:538-553 (2000)
81. Maes, M. Collier, S. Vandoninck, P. Scarpa, L. Verschaeve, “Cytogenetic Effects of 50 Hz Magnetic Fields of Different Magnetic Flux Densities”, *Bioelectromagnetics* 21:589-596 (2000)
82. Paolo Galloni, Carmela Marino, “Effects of 50 Hz Magnetic Field Exposure on Tumor Experimental Models”, *Bioelectromagnetics* 21:608-614 (2000)
83. Mikhail N. Zhadin, “Review of Russian Literature on Biological Action of DC and Low- Frequency AC Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 22:27-45 (2001)

84. Martin Lindgren, Maria Gustavsson, Yngve Hamnerius, Sheila Galt, “ELF Magnetic Fields in a City Environment”, *Bioelectromagnetics* 22:87-90 (2001)
85. Seung Cheol Hong, Yoshika Kurokawa, Michinori Kabuto, Ryutaro Ohtsuka, “Chronic Exposure to ELF Magnetic Fields During Night Sleep With Electric Sheet: Effects on Diurnal Melatonin Rhythms in Men”, *Bioelectromagnetics* 22:138-143 (2001)
86. J. Antonio Heredia-Rojas, Abraham O. Rodríguez-De la Fuente, M. del Roble Velazco-Campos, Carlos H. Leal-Garza, Laura E. Rodríguez-Flores, Beatriz de la Fuente-Cortez, “Cytological Effects of 60 Hz Magnetic Fields on Human Lymphocytes In Vitro: Sister-Chromatid Exchanges, Cell Kinetics and Mitotic Rate”, *Bioelectromagnetics* 22:145-149 (2001)
87. Ben G. Armstrong, Jan Deadman, Mary L. McBride, “The Determinants of Canadian Children's Personal Exposures to Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 22:161-169 (2001)
88. Steven H. Hefeneider, Sharon L. McCoy, Frances A. Hausman, Heidi L. Christensen, Diana Takahashi, Nancy Perrin, T. Dan Bracken, K.Y. Shin, Arthur S. Hall, “Long-Term Effects of 60-Hz Electric vs. Magnetic Fields on IL-1 and IL-2 Activity in Sheep”, *Bioelectromagnetics* 22:170-177 (2001)
89. L.E. Anderson, J.E. Morris, D.L. Miller, C.N. Rafferty, K.L. Ebi, L.B. Sasser, “Large Granular Lymphocytic (LGL) Leukemia in Rats Exposed to Intermittent 60 Hz Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 22:185-193 (2001)
90. W.T. Kaune, S. Davis, R.G. Stevens, D.K. Mirick, L. Kheifets, “Measuring Temporal Variability in Residential Magnetic Field Exposures”, *Bioelectromagnetics* 22:232-245 (2001)
91. Shin-ichi Harada, Sotoshi Yamada, Osamu Kuramata, Yoshirou Gunji, Masatoshi Kawasaki, Tomokazu Miyakawa, Hideto Yonekura, Shigeru Sakurai, Kazuo Bessho, Ryuji Hosono, Hiroshi Yamamoto, “Effects of High ELF Magnetic Fields on Enzyme-Catalyzed DNA and RNA Synthesis In Vitro and on a Cell-Free DNA Mismatch Repair”, *Bioelectromagnetics* 22:260-266 (2001)
92. W. T. Kaune, R. S. Banks, M. S. Linet, E. E. Hatch, R. A. Kleinerman, S. Wacholder, R. E. Tarone, C. Haines, “Static Magnetic Field Measurements in Residences in Relation to Resonance Hypotheses of Interactions Between Power-Frequency Magnetic Fields and Humans”, *Bioelectromagnetics* 22:294-305 (2001)
93. J. Brix, H. Wettemann, O. Scheel, F. Feiner, R. Matthes, “Measurement of the Individual Exposure to 50 and 16 2/3 Hz Magnetic Fields Within the Bavarian Population”, *Bioelectromagnetics* 22:323-332 (2001)
94. A.W. Thomas, D.J. Drost, F.S. Prato, “Magnetic Field Exposure and Behavioral Monitoring System”, *Bioelectromagnetics* 22:401-407 (2001)
95. Santi Tofani, Domenico Barone, Marcella Cintorino, Maria Margherita de Santi, Adriana Ferrara, Renzo Orlassino, Piero Ossola, Flavio Peroglio, Katia Rolfo, Flavio Ronchetto, “Static and ELF Magnetic Fields Induce Tumor Growth Inhibition and Apoptosis”, *Bioelectromagnetics* 22:419-428 (2001)
96. Eugene Lyskov, Monica Sandtröm, Kjell Hansson Mild, “Provocation Study of Persons With Perceived Electrical Hypersensitivity and Controls Using Magnetic Field Exposure and Recording of Electrophysiological Characteristics”, *Bioelectromagnetics* 22:457-462 (2001)
97. Aleksander Sieron, Ryszard Brus, Ryszard Szkilnik, Andrzej Plech, Norbert Kubanski, Grzegorz Cieslar, “Influence of Alternating Low Frequency Magnetic Fields on Reactivity of Central Dopamine Receptors in Neonatal 6-Hydroxydopamine Treated Rats”, *Bioelectromagnetics* 22:479-486 (2001)
98. Andrew A. Marino, R. Michael Wolcott, Robert Chervenak, Frances Jourdeuil, Erik Nilsen, Clifton Frilot II, “Nonlinear Dynamical Law Governs Magnetic Field Induced Changes in Lymphoid Phenotype”, *Bioelectromagnetics* 22:529-546 (2001)
99. G.L. Hu, H. Chiang, Q.L. Zeng, Y.D. Fu, “ELF Magnetic Field Inhibits Gap Junctional Intercellular Communication and Induces Hyperphosphorylation of Connexin43 in NIH3T3 Cells”, *Bioelectromagnetics* 22:568-573 (2001)
100. Donna E. Foliart, Richard N. Iriye, Kathleen J. Tarr, J. Michael Silva, Rob Kavet, Kristie L. Ebi, “Alternative Magnetic Field Exposure Metrics: Relationship to TWA, Appliance Use, and Demographic Characteristics of Children in a Leukemia Survival Study”, *Bioelectromagnetics* 22:574-580 (2001)
101. W. Löscher, “Do Cocarcinogenic Effects of ELF Electromagnetic Fields Require Repeated Long-Term Interaction With Carcinogens? Characteristics of Positive Studies Using the DMBA Breast Cancer Model in Rats”, *Bioelectromagnetics* 22:603-614 (2001)

102. Raymond Richard Neutra, Vincent Del Pizzo, “California Department of Health Services Workshop on EMF Epidemiology”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S1-S3* (2001)
103. Gary M. Shaw, “Adverse Human Reproductive Outcomes and Electromagnetic Fields: A Brief Summary of the Epidemiologic Literature”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S5-S18* (2001)
104. Bryan Langholz, “Factors That Explain the Power Line Configuration Wiring Code- Childhood Leukemia Association: What Would They Look Like?”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S19-S31* (2001)
105. Daniel Wartenberg, “The Potential Impact of Bias in Studies of Residential Exposure to Magnetic Fields and Childhood Leukemia”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S32-S47* (2001)
106. Raymond Richard Neutra and Vincent Del Pizzo, “A Richer Conceptualization of ‘‘Exposure’’ for Epidemiological Studies of the ‘‘EMF Mixture’’”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S48-S57* (2001)
107. Peggy Reynolds, Eric Elkin, Russell Scalf, Julie Von Behren, Raymond Richard Neutra, “A Case-Control Pilot Study of Traffic Exposures and Early Childhood Leukemia Using a Geographic Information System”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S58-S68* (2001)
108. David A. Savitz, Charles Poole, “Do Studies of Wire Code and Childhood Leukemia Point Towards or Away From Magnetic Fields as the Causal Agent?”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S69-S85* (2001)
109. Daniel Wartenberg, “Residential EMF Exposure and Childhood Leukemia: Meta-Analysis and Population Attributable Risk”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S86-S104* (2001)
110. T.C. Erren, “A Meta-Analysis of Epidemiologic Studies of Electric and Magnetic Fields and Breast Cancer in Women and Men”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S105-S119* (2001)
111. Leeka I. Kheifets, “Electric and Magnetic Field Exposure and Brain Cancer: A Review”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S120-S131* (2001)
112. Anders Ahlbom, “Neurodegenerative Diseases, Suicide and Depressive Symptoms in Relation to EMF”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S132-S143* (2001)
113. Raymond R. Neutra, “Panel Exploring Pro and Con Arguments as to Whether EMFs Cause Childhood Brain Cancer”, *Bioelectromagnetics Supplement 5:S144-S149* (2001)
114. Organizzazione Mondiale della Sanità, “Promemoria n. 263 - Campi elettromagnetici e salute pubblica – Campi a frequenza estremamente bassa e cancro”, ottobre 2001
115. Christopher H. Mueller, Helmut Krueger, Christoph Schierz, “Project NEMESIS: Perception of a 50 Hz Electric and Magnetic Field at Low Intensities (Laboratory Experiment)”, *Bioelectromagnetics 23:26-36* (2002)
116. Anna Laitl-Kobierska, Grzegorz Cieslar, Aleksander Sieron, Henryk Grzybek, “Influence of Alternating Extremely Low Frequency ELF Magnetic Field on Structure and Function of Pancreas in Rats”, *Bioelectromagnetics 23:49-58* (2002)
117. W.T. Kaune, “Estimating the Magnitude of the Sum of Two Magnetic Fields With Uncertain Spatial Orientations, Polarizations, and/or Relative Phase”, *Bioelectromagnetics 23:59-67* (2002)
118. C.M. Cook, A.W. Thomas, F.S. Prato, “Human Electrophysiological and Cognitive Effects of Exposure to ELF Magnetic and ELF Modulated RF and Microwave Fields: A Review of Recent Studies”, *Bioelectromagnetics 23:144-157* (2002)
119. Ahmed Elbetieha, Moh’d-Ali AL-Akhras, Homa Darmani, “Long-Term Exposure of Male and Female Mice to 50 Hz Magnetic Field: Effects on Fertility”, *Bioelectromagnetics 23:168-172* (2002)
120. Yuomo Eskelinen, Jari Keinänen, Heidi Salonen, Jukka Juutilainen, “Use of Spot Measurements for Assessing Residential ELF Magnetic Field Exposure: A Validity Study”, *Bioelectromagnetics 23:173-176* (2002)
121. W. T. Kaune, T. Dovan, R. I. Kavet, D. A. Savitz, R. R. Neutra, “Study of High- and Low- Current-Configuration Homes From the 1988 Denver Childhood Cancer Study”, *Bioelectromagnetics 23:177-188* (2002)
122. John Podd, Jeana Abbott, Nikolaos Kazantzis, Al Rowland, “Brief Exposure to a 50 Hz, 100 μ T Magnetic Field: Effects on Reaction Time, Accuracy, and recognition memory”, *Bioelectromagnetics 23:189-195* (2002)

123. Robert S. Banks, William Thomas, Jack S. Mandel, William T. Kaune, Sholom Wacholder, Robert E. Tarone, Martha S. Linet, “Temporal Trends and Misclassification in Residential 60 Hz Magnetic Field Measurements”, *Bioelectromagnetics* 23:196-205 (2002)
124. Yoshihisa Otaka, Tetsuo Chida, Yasuhiko Yamagishi, Satoshi Kitamura, “Carcinogenicity Test in B6C3F1 Mice After Parental and Prenatal Exposure to 50 Hz Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 23:206-213 (2002)
125. Ulla M. Forssén, Anders Ahlbom, Maria Feychting, “Relative Contribution of Residential and Occupational Magnetic Field Exposure Over Twenty-Four Hours Among People Living Close to and Far From a Power Line”, *Bioelectromagnetics* 23:239-244 (2002)
126. József Bakos, Noémi Nagy, György Thuróczy, László D. Szabó, “One Week of Exposure to 50 Hz, Vertical Magnetic Field Does Not Reduce Urinary 6-Sulphatoxymelatonin Excretion of Male Wistar Rats”, *Bioelectromagnetics* 23:245-248 (2002)
127. Karl Gerhard Blaasaas, Tore Tynes, “Comparison of Three Different Ways of Measuring Distances Between Residences and High Voltage Power Lines”, *Bioelectromagnetics* 23:288-291 (2002)
128. Vanessa Manni, Antonella Lisi, Deleana Pozzi, Sabrina Rieti, Annalucia Serafino, Livio Giuliani, Settimio Grimaldi, “Effects of Extremely Low Frequency (50 Hz) Magnetic Field on Morphological and Biochemical Properties of Human Keratinocytes”, *Bioelectromagnetics* 23:298-305 (2002)
129. Mayumi Obo, Shiro Konishi, Yoshihisa Otaka, Satoshi Kitamura, “Effect of Magnetic Field Exposure on Calcium Channel Currents Using Patch Clamp Technique”, *Bioelectromagnetics* 23:306-314 (2002)
130. Juraj Gmitrov, Chiyoji Ohkubo, “Artificial Static and Geomagnetic Field Interrelated Impact on Cardiovascular Regulation”, *Bioelectromagnetics* 23:329-338 (2002)
131. Jiliang Zhou, Changlin Li, Gengdong Yao, Huai Chiang, Zongliang Chang, “Gene Expression of Cytokine Receptors in HL60 Cells Exposed to a 50 Hz Magnetic Field”, *Bioelectromagnetics* 23:339-346 (2002)
132. Lawrence N. Dworsky, “Project NEMESIS: Perception of a 50 Hz Electric and Magnetic Field at Low Intensities”, *Bioelectromagnetics* 23:553-554 (2002)
133. Gui-Rong Ding, Takehisa Nakahara, Junji Miyakoshi, “Exposure to Power Frequency Magnetic Fields and X-Rays Induces GAP-43 Gene Expression in Human Glioma MO54 Cells”, *Bioelectromagnetics* 23:586-591 (2002)
134. W.T. Kaune, “Thermal Noise Limit on the Sensitivity of Cellular Membranes to Power Frequency Electric and Magnetic Fields”, *Bioelectromagnetics* 23:622-628 (2002)
135. Thomas S. Tenforde, “The Wonders of Magnetism”, *Bioelectromagnetics* 24:3-11 (2003)
136. Q. L. Zeng, H. Chiang, G. L. Hu, G. G. Mao, Y. T. Fu, D. Q. Lu, “ELF Magnetic Fields Induce Internalization of Gap Junction Protein Connexin 43 in Chinese Hamster Lung Cells”, *Bioelectromagnetics* 24:134-138 (2003)
137. G. R. Verheyen, G. Pauwels, L. Verschaeve, G. Schoeters, “Effect of Coexposure to 50 Hz Magnetic Fields and an Aneugen on Human Lymphocytes, Determined by the Cytokinesis Block Micronucleus Assay”, *Bioelectromagnetics* 24:160-164 (2003)
138. Chung-Yi Li, Ruey S. Lin, Fung-Chang Sung, “Brief Communication Elevated Residential Exposure to Power Frequency Magnetic Field Associated With Greater Average Age at Diagnosis for Patients With Brain Tumors”, *Bioelectromagnetics* 24:218-221 (2003)
139. Moon-Koo Chung, Jong-Choon Kim, Sung-Ho Myung, Dong-Il Lee, “Developmental Toxicity Evaluation of ELF Magnetic Fields in Sprague–Dawley Rats”, *Bioelectromagnetics* 24:231-240 (2003)
140. T. Beruto, R. Botter, F. Perfumo, S. Scaglione, “Interfacial Effect of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields (EM-ELF) on the Vaporization Step of Carbon Dioxide From Aqueous Solutions of Body Simulated Fluid (SBF)”, *Bioelectromagnetics* 24:251-261 (2003)
141. Michael Levin, “Bioelectromagnetics in Morphogenesis”, *Bioelectromagnetics* 24:295-315 (2003)
142. Michael A. Kelsh, T. Dan Braken, Jack D. Sahl, Mona Shum, Kristie L. Ebi, „Occupational Magnetic Field Exposures of Garment Workers: Results of Personal and Survey Measurements”, *Bioelectromagnetics* 24:316-326 (2003)

143. Maria Teresa Santini, Gabriella Rainaldi, Antonella Ferrante, Pietro Luigi Indovina, Paolo Vecchia, Gianfranco Donelli, “Effects of a 50 Hz Sinusoidal Magnetic Field on Cell Adhesion Molecule Expression in Two Human Osteosarcoma Cell Lines (MG-63 and Saos- 2)”, *Bioelectromagnetics* 24:327-338 (2003)

Palmanova, 30.06.2004

Consulente Fisico

dott. Massimiliano Benes
dott. Francesco Montanari

Referente

dott.ssa Anna Bampo

Responsabile del progetto

dott. Renato Villalta

“Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell’impatto sulla popolazione.”
Relazione conclusiva

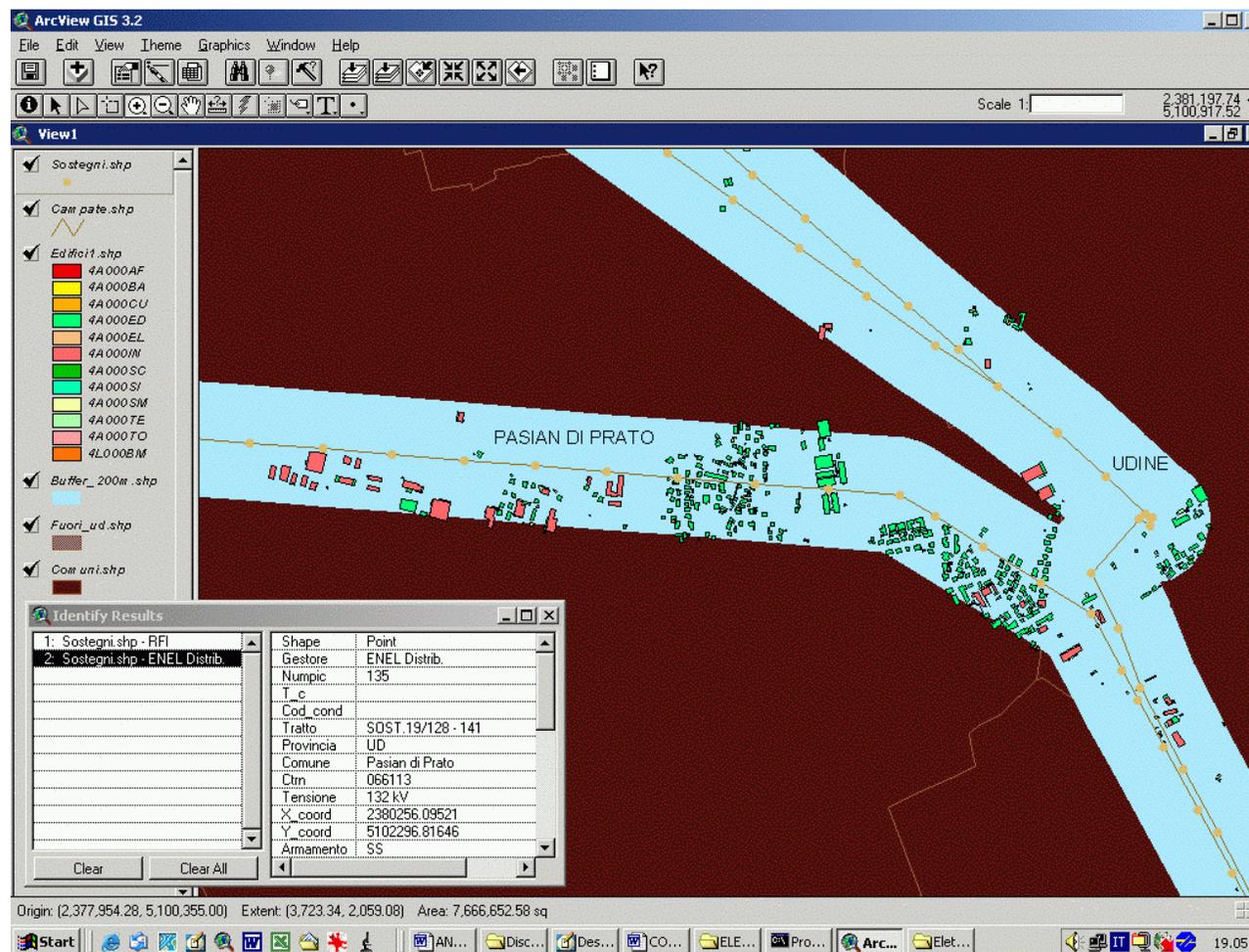


Tavola 1.1: schermata di ArcView© GIS 3.2 contenente elementi dei *tematismi* predisposti della prima fase del presente Studio.

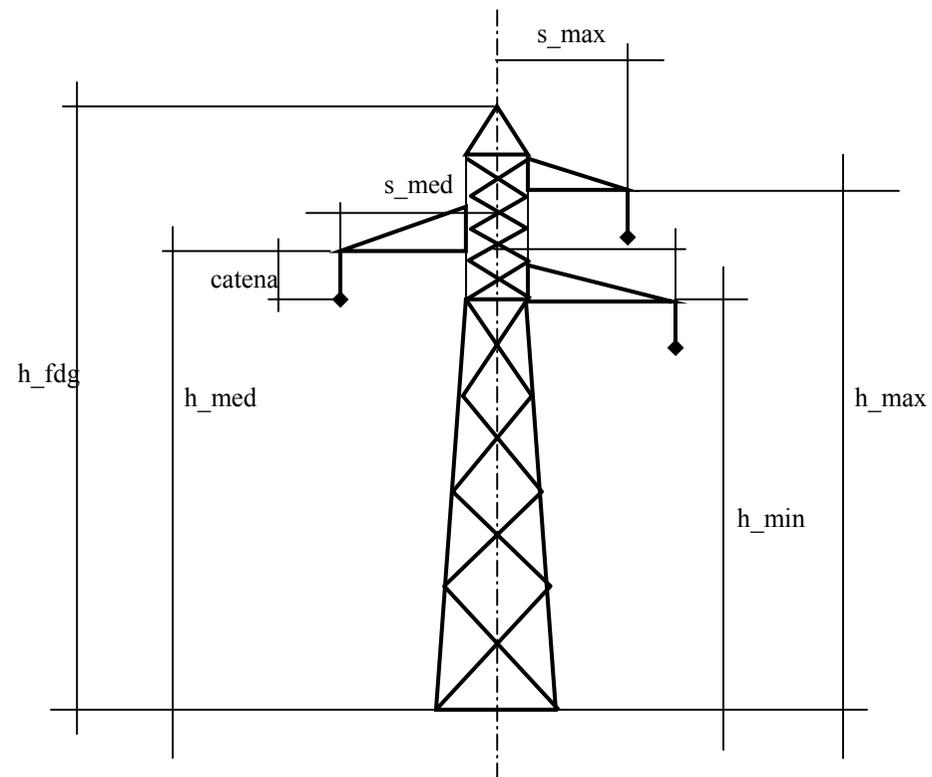
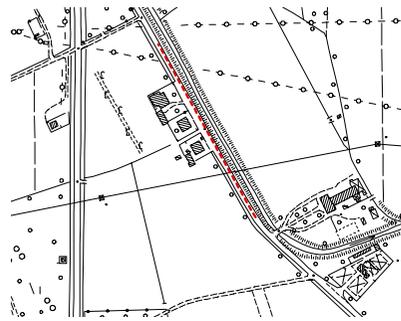


Tavola 1.2: in Figura: visualizzazione schematica di alcuni campi del database *sostegni.dbf*.

“Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell’impatto sulla popolazione.”
Relazione conclusiva



La linea rossa tratteggiata indica il percorso seguito

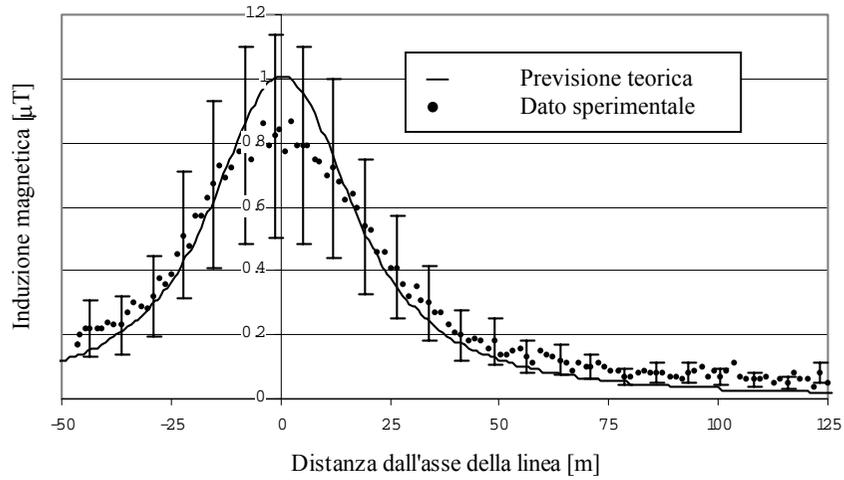
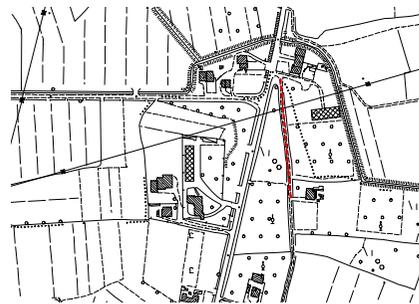


Figura 1: Confronto tra dati sperimentali e previsione teorica: Linea 21347 (380 kV, Planais – Salgareda) a San Giorgio di Nogaro (UD).



La linea rossa tratteggiata indica il percorso seguito

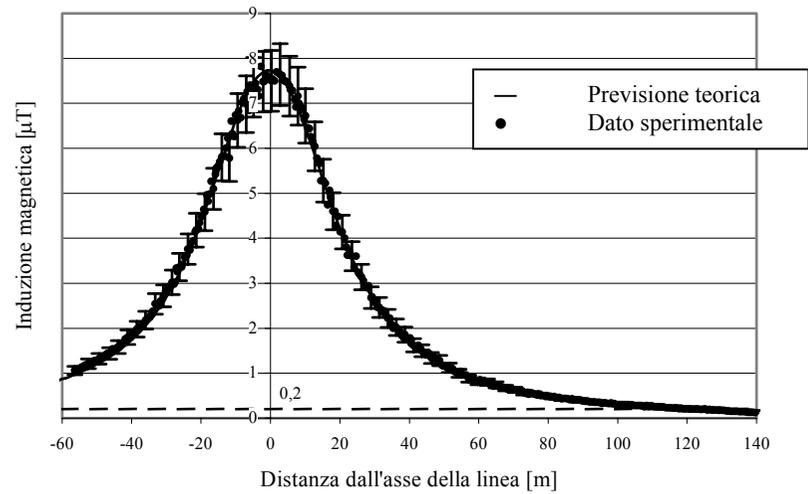


Figura 2: Confronto tra dati sperimentali e previsione teorica: Linea 21356 (380 kV, Planais – Redipuglia) a Cervignano del Friuli (UD)

Tavola 2.1: confronto fra le previsioni del software di simulazione dell’induzione magnetica ed i valori misurati nei pressi di due linee AAT

CMAGNETICO - Inserimento dati di linea

File Linea Avanzate 7

1) Mr. Punti del Campionamento

Lungo X	Lungo Y	Lungo Z

2) Passo del Campionamento

Lungo X (m)	Lungo Y (m)	Lungo Z (m)

3) Origine del Campionamento

Lungo X (m)	Lungo Y (m)	Lungo Z (m)

4) Dati Elettrici della Linea C.ta: Centrale

	Corrente eff. (amp)	Fase: R, S, T	"Offset" (gradi)	Ascesso X (m)
F1				
F2				
F3				
F4				
F5				
F6				
F7				
F8				
F9				
F10				
F11				
F12				

5) Dati Geometrici della Linea

	C1 - L (m)	U_0 (m)	H_0 (m)	H_1 (m)	H_2 (m)	INCL (gradi)	C2 - L (m)	U_0 (m)	H_0 (m)	H_1 (m)	H_2 (m)	INCL (gradi)
F1												
F2												
F3												
F4												
F5												
F6												
F7												
F8												
F9												
F10												
F11												
F12												

Figlio 1: Numero Punti del Campionamento: Lungo asse X

HUM

Tavola 2.2: schermata di Cmagnetico© destinata all’inserimento dei dati delle campate.

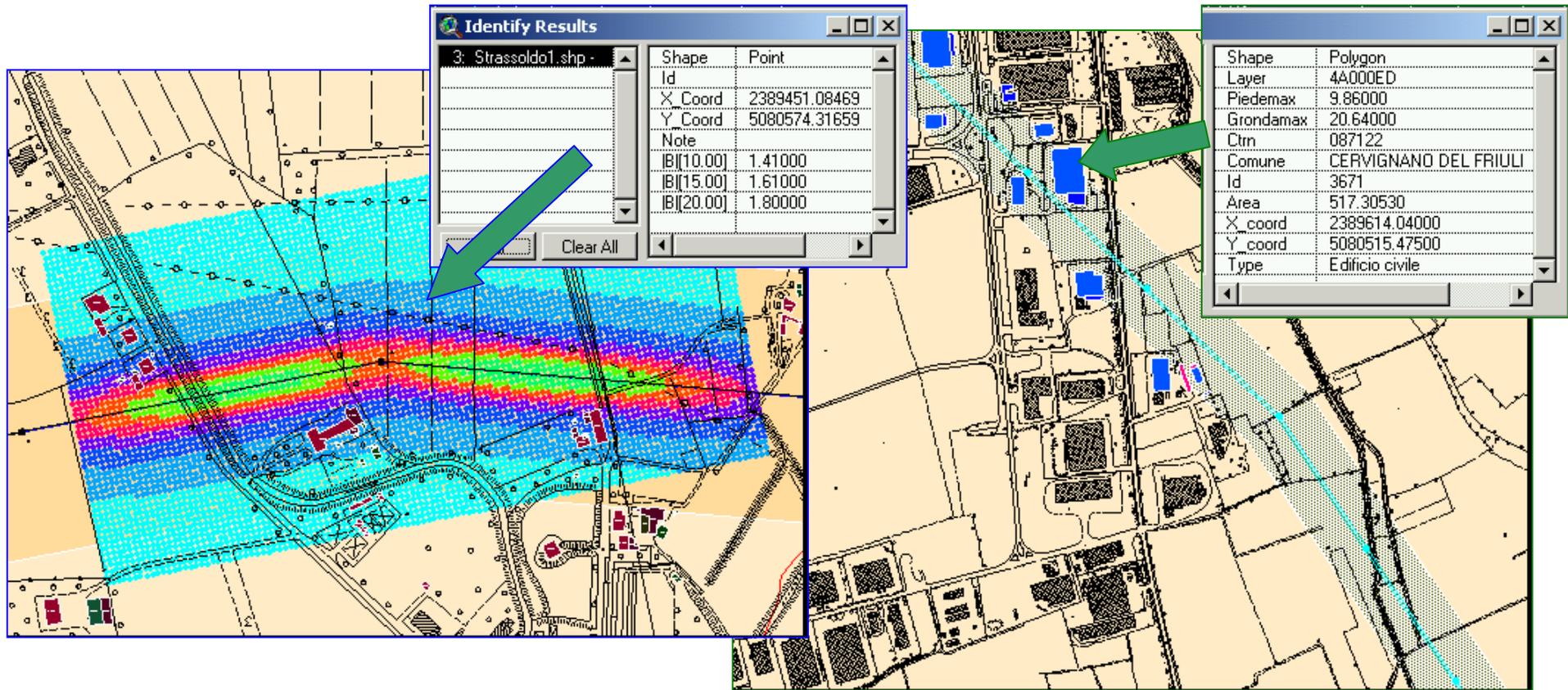


Tavola 2.3: a sinistra, simulazione del campo di induzione magnetica, georeferenziata e visualizzata in ambiente ArcViewGIS per mezzo dell'integrazione fra catasto degli elettrodotti e CMagnetico. La tabella evidenzia come, ad ogni punto della simulazione, siano associati i valori del campo alle diverse quote richieste; a destra, visualizzazione di edifici interessati da una fascia di rispetto.

Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell’impatto sulla popolazione.”
Relazione conclusiva

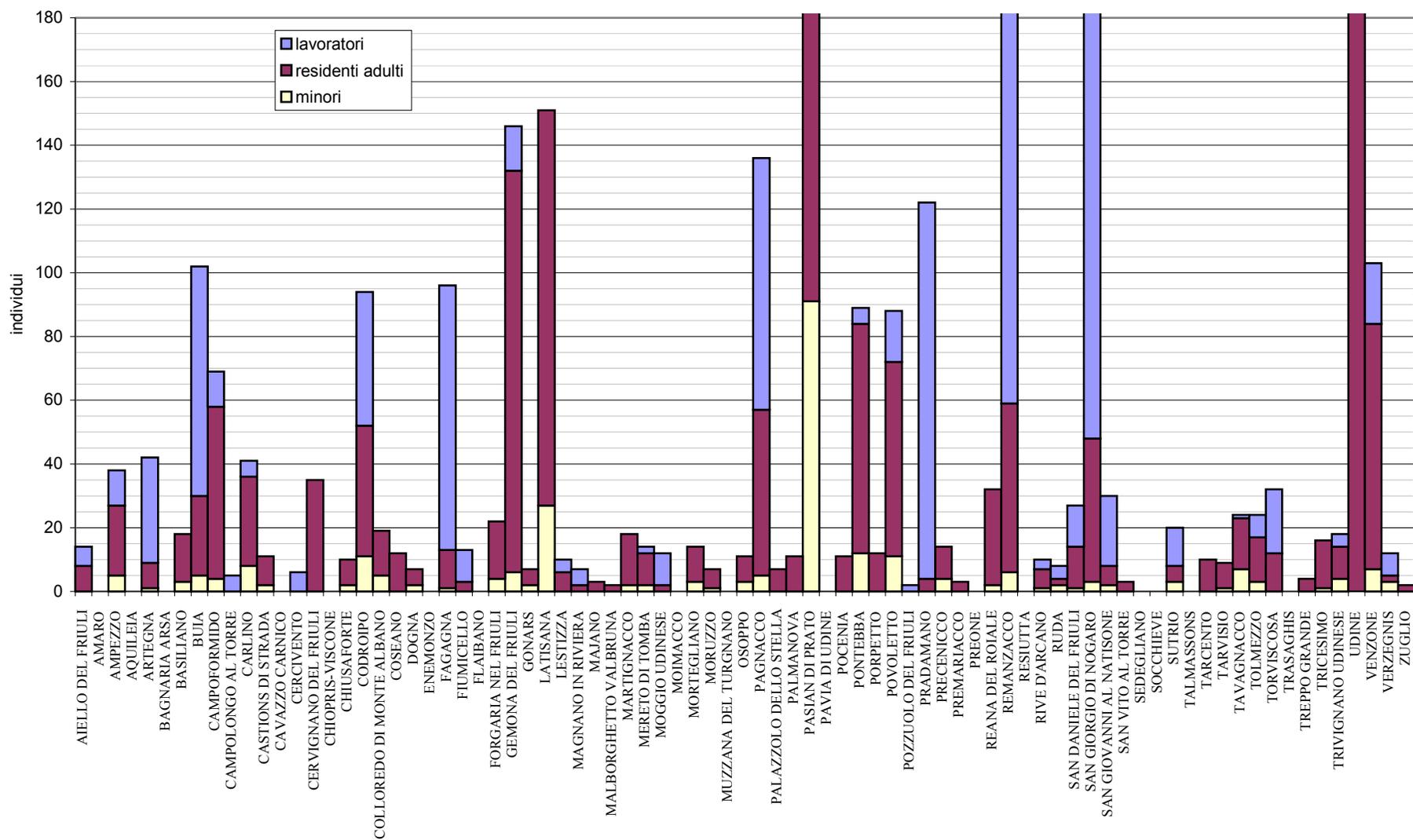


Tavola 3.1: popolazione residente o impiegata presso gli edifici interessati dalle fasce di rispetto. Dato aggregato per Comune.

Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell'impatto sulla popolazione.”
Relazione conclusiva

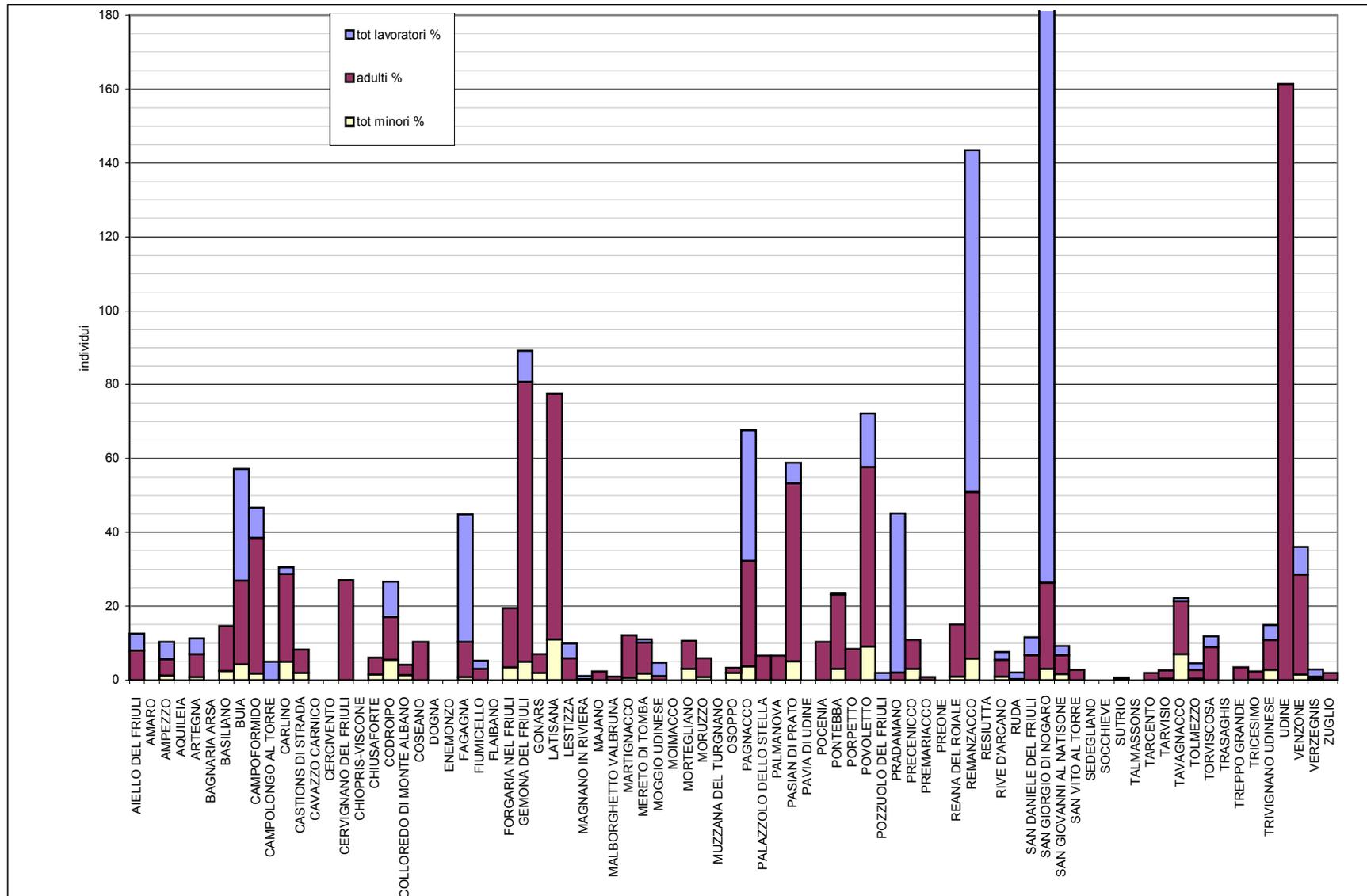


Tavola 3.2: numero di individui residenti o impiegati presso gli edifici interessati dalle fasce di attenzione, pesato per la frazione dell'area degli edifici effettivamente occupata dalla fascia di attenzione. Dato aggregato per Comune.

Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell'impatto sulla popolazione.
Relazione conclusiva

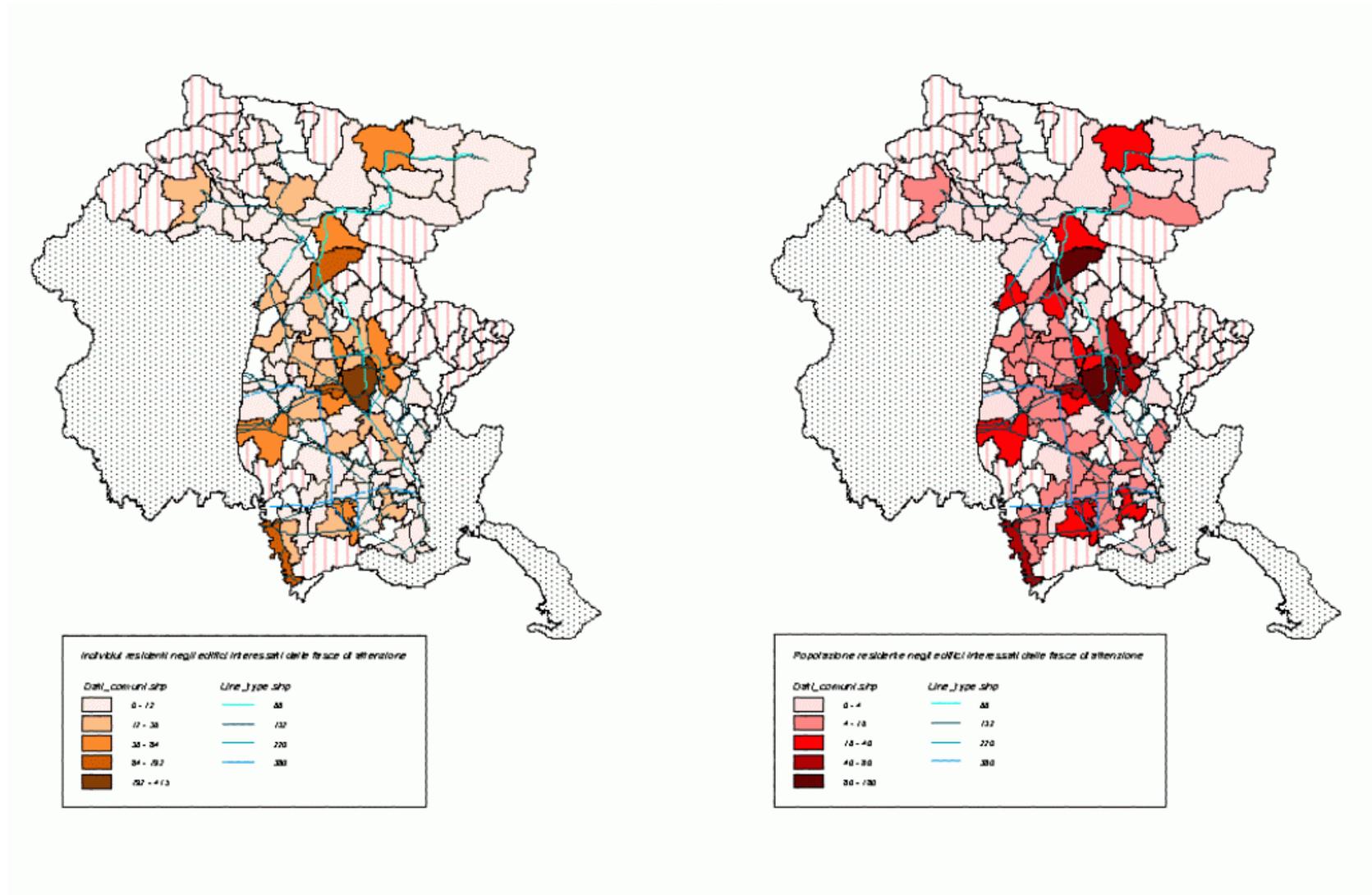


Tavola 3.3: nella carta a sinistra, il computo della popolazione residente negli edifici interessati dalle fasce di rispetto; a destra, lo stesso dato pesato per la frazione dell'area di ciascun edificio effettivamente occupata dalla fascia di rispetto. In colore bianco, i comuni nei quali non si sono contati edifici; a bande verticali, i comuni non interessati dagli elettrodotti.

“Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell’impatto sulla popolazione.”
Relazione conclusiva

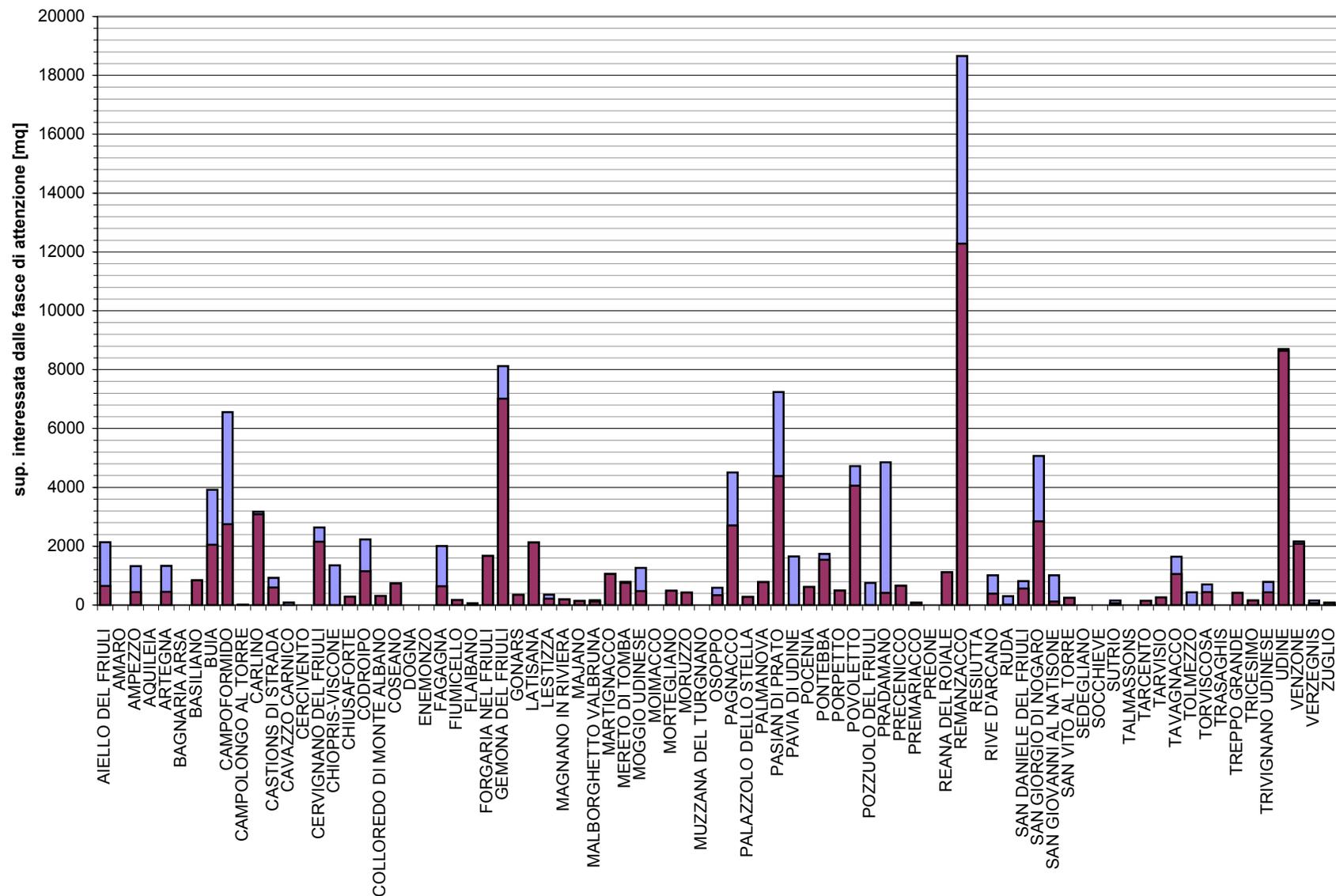


Tavola 3.4: superficie edificata interessata dalle fasce di rispetto (in rosso, quella a destinazione residenziale; in blu, quella destinata ad attività produttive o commerciali; restano escluse le costruzioni accessorie, i depositi, le baracche, etc.)

Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell'impatto sulla popolazione.
Relazione conclusiva

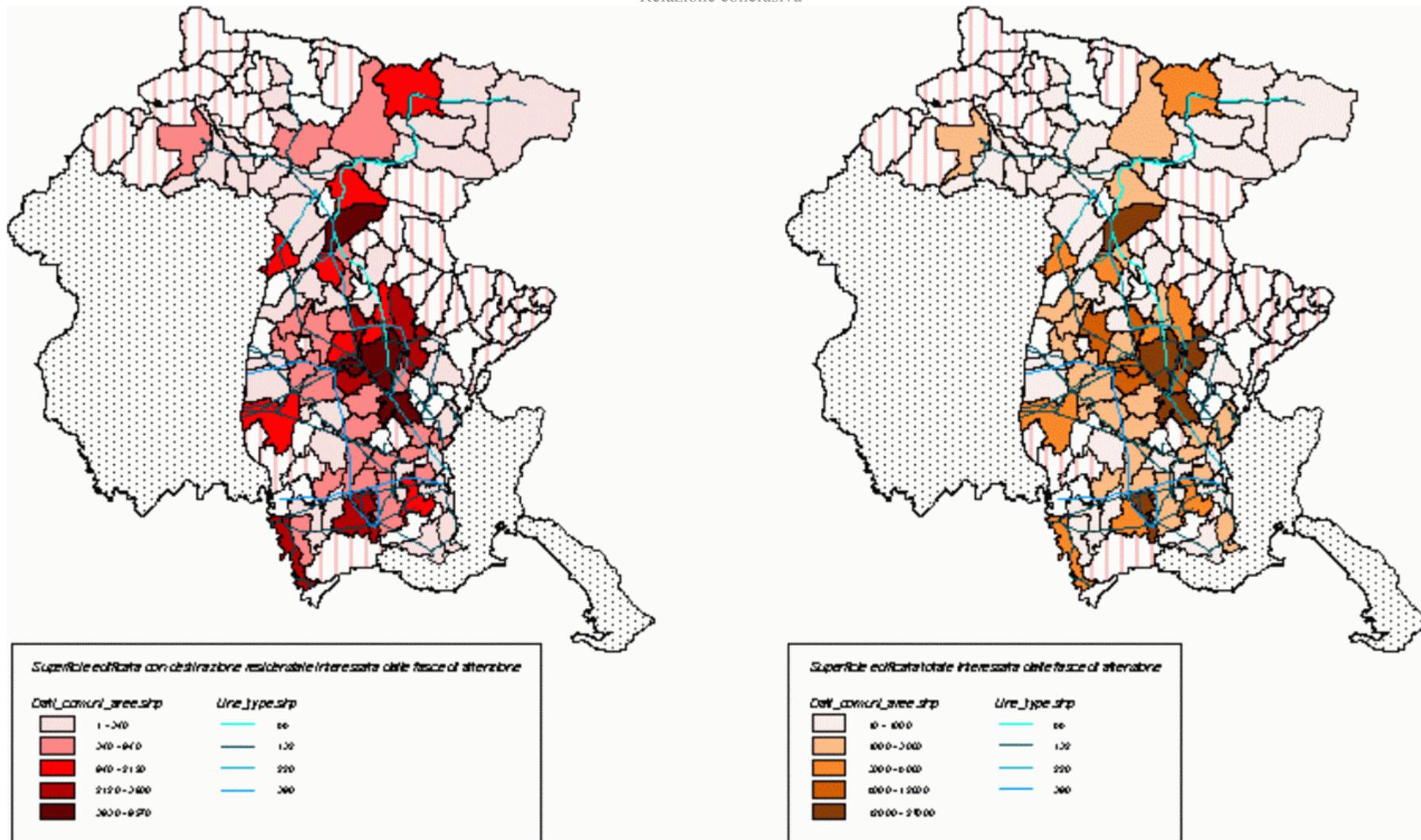


Tavola 3.5: superficie edificata interessata dalle fasce di attenzione (a sinistra, quella con destinazione residenziale; a destra, il dato complessivo per Comune).

“Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell’impatto sulla popolazione.”
 Relazione conclusiva

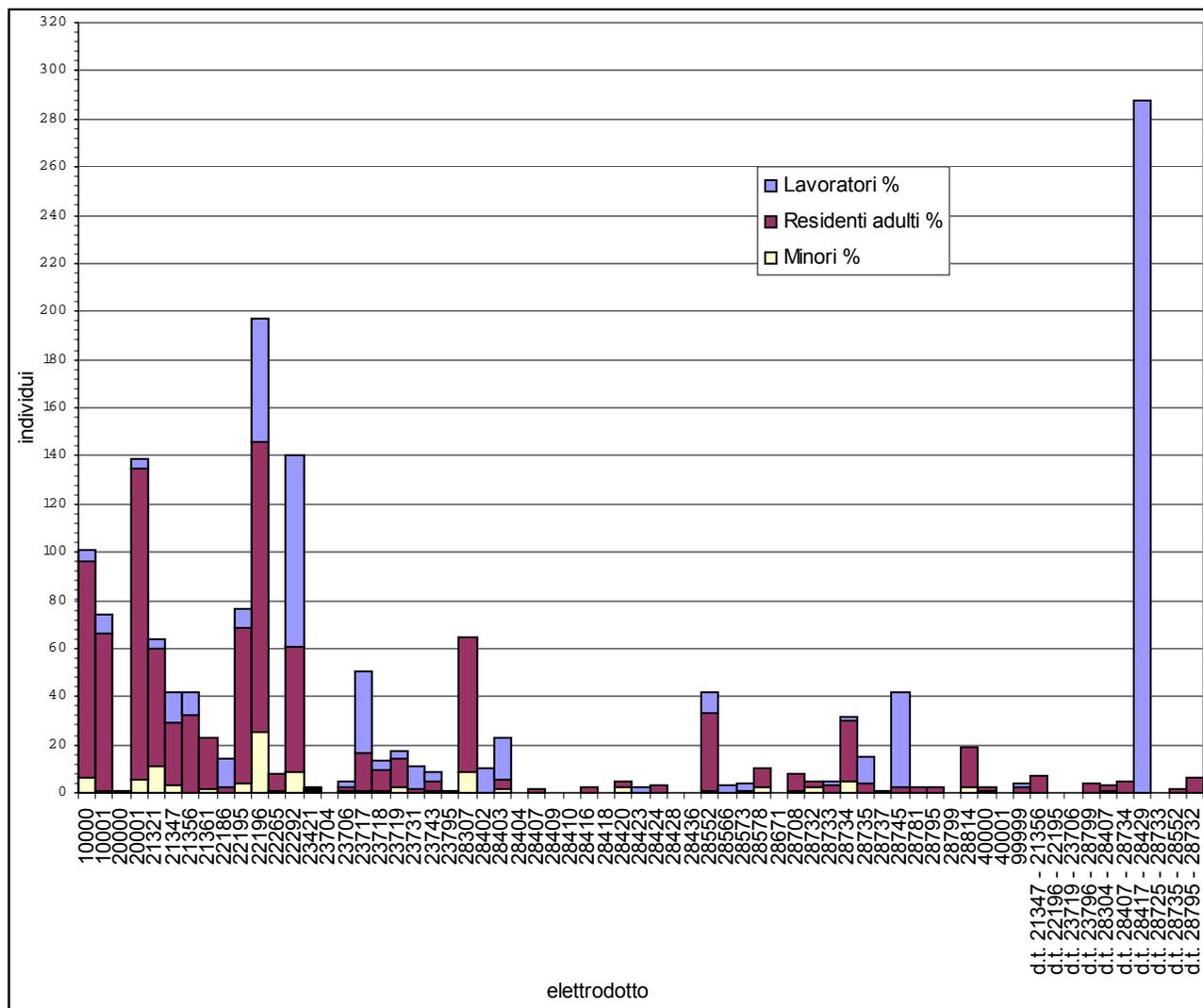


Tavola 3.6: numero di individui residenti od impiegati negli edifici interessati dalle fasce di attenzione, pesato per la superficie di ciascun edificio effettivamente interessata dalla fascia di attenzione. Dato aggregato per linea; l’indicazione *d.t.* indica i tratti interessati da due terne.

“Elettrodotti sul territorio della Provincia di Udine. Valutazione dell’impatto sulla popolazione.”
 Relazione conclusiva

